

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА  
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ЧЕРКАСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ БОГДАНА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО  
WROCLAW UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



Wrocław University  
of Science and Technology

## ІНТЕГРОВАНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ (ІРТК-2020)

ТРИНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА  
КОНФЕРЕНЦІЯ

19-20 травня 2020 р.  
Київ, Україна

ЗБІРКА ТЕЗ

Київ  
2020

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
NATIONAL AVIATION UNIVERSITY

ENGINEERING ACADEMY OF UKRAINE

NATIONAL UNIVERSITY OF WATER AND  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

THE BOHDAN KHMELNYTSKY NATIONAL UNIVERSITY OF CHERKASY

WROCLAW UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



Wrocław University  
of Science and Technology

# INTEGRATED INTELLECTUAL ROBOTECHNICAL COMPLEXES (IIRTC-2020)

13<sup>th</sup> INTERNATIONAL SCIENCE AND TECHNICAL  
CONFERENCE

MAY 19-20<sup>TH</sup>, 2020  
KYIV, UKRAINE

COLLECTED ARTICLES

KYIV  
2020

## Міжнародний програмний комітет

### Голова:

Квасніков В.П. д.т.н., проф., Заслужений метролог України, зав. каф. комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій НАУ, м. Київ.

### Члени комітету:

Васильєв А.Й. д.е.н., проф., Президент Інженерної академії України, Заслужений діяч науки і техніки України, академік Міжнародної Інженерної академії, м. Харків.

Власенко В.О. д.т.н., проф., каф. технології університету Ополя, Республіка Польща.

Древецький В.В. д.т.н., проф., зав. каф. автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету водного господарства та природокористування, віце-президент Інженерної академії України, м. Рівне.

Радєв Х.К. д.т.н., проф., Технічний університет, м. Софія, Болгарія.

Черновол М.І. член-кор. Національної аграрної академії України, д.т.н., проф., ректор Центральноукраїнського НТУ, м. Кропивницький.

Острофські К. д.т.н., проф., декан Краківського сільськогосподарського університету, Республіка Польща.

Мічинські Я. д.т.н., проф., зав. каф. Краківського сільськогосподарського університету, Республіка Польща.

Хойніцкі Ю. Ph.D., проф., заст. декана Варшавського університету природничих наук, Республіка Польща.

Serhiy Kovala Ph.D., MBA, CTP Senior Lecturer, Department of Informatics and Operations Management Faculty of Business and Law Kingston University.

Yahya S.H. Khraisat Ph.D., Al\_Balda Applied University / Al-Huson University College, Irdan, Jordan.

Відповідальний редактор: Шелуха О.О.

Рекомендовано до друку вченою радою Аерокосмічного факультету НАУ (протокол № 8 від 28 травня 2020 р.)

Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2020). Тринадцята міжнародна науково-практична конференція 19-20 травня 2020 р., Київ, Україна. – К.: НАУ, 2020. – 305 с. (збірка тез)

Містить результати наукових, експериментальних та теоретичних досліджень вчених та аспірантів.

Матеріали можуть бути корисними науковим співробітникам, інженерно-технічним працівникам, аспірантам та студентам старших курсів вузів, що спеціалізуються в галузі автоматизованих систем управління робототехнічних комплексів та прогресивних інформаційних технологій.

Видання праць конференції “ІРТК-2020” можна замовити за адресою:  
Національний авіаційний університет,  
кафедра комп’ютеризованих електротехнічних систем та технологій АКФ, к. 11-402,  
проспект Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03680  
[iirtk.nau@gmail.com](mailto:iirtk.nau@gmail.com)  
[kvp@nau.edu.ua](mailto:kvp@nau.edu.ua)

## ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова:

Квасніков В.П. д.т.н., проф., Заслужений метролог України, зав. каф. комп’ютеризованих електротехнічних систем та технологій НАУ, м. Київ.

Заступник голови:

Древецький В.В. д.т.н., проф., зав. каф. автоматизації, електротехнічних та комп’ютерно-інтегрованих технологій Національного університету водного господарства та природокористування, віце-президент Інженерної академії України, м. Рівне.

Члени оргкомітету:

Ковальчук В. В. д.т.н, проф., директор Одеського коледжу інформаційних технологій.  
Кошовий М.Д. д.т.н., проф., зав. каф. авіаційних приладів та вимірювань Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського “ХАІ”, лауреат Держ. премії України в галузі науки і техніки, м. Харків.

Кухарчук В. В. д.т.н., проф., зав. каф. теоретичної електротехніки та електроніки Вінницького національного технічного університету.

Макаров В.Л. академік НАН України, д. ф.-м. н., проф., зав. відділом обчислювальної математики, Інституту математики НАН України, м. Київ.

Харитонов Ю. М. д.т.н., професор, декан факультету морської інфраструктури Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв.

Осауленко І. А. д.т.н., доцент, зав. каф. інтелектуальних систем прийняття рішень Черкаського національного університету ім. Богдана Хмельницького, м. Черкаси.

### Секретарі конференції:

Шелуха О.О. – асистент кафедри комп’ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного Університету.

Ісаченко А.О., Петров Ю.І., Слесаренко К.С. – аспіранти кафедри комп’ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного Університету.

### Члени оргкомітету (робоча група):

Асаніна А.В., Дубина П.П., Ільченко В.М., Ісаченко А.О., Катаєва М.О., Кочеткова О.В., Лещенко Ю.П., Петров Ю.І., Стахова А.П., Шелуха О.О., Слесаренко К.С..

INTERNATIONAL PROGRAMM COMMITTEE

Head:

Volodymyr P. Kvasnikov Prof. Dr.-Tech. Sc. habil., Head of department of computerized electrical systems and technologies at the National Aviation University, Honoured Metrologist, Kyiv, Ukraine.

Committee members:

Anatoliy J. Vasyliw President of the Engineering Academy of Ukraine, Honoured Scientist of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.

Viktor O. Vlasenko Prof. Dr.-Tech. Sc. habil., Professor in the technologies department at the Opole University, Opole, Poland.

Volodymyr Drevetskyi D.Sc. (Tech.), prof., head of Department of Automation, Electrical Engineering and Computer-Integrated Technologies of the National University of Water and Environmental Engineering, vice-president of the Engineering Academy of Ukraine, Rivne.

Edward Chlebus D.Sc. Eng., prof., head of the Department of Laser Technologies, Automation and Organization of Production, Wroclaw University of Science and Technology, Poland.

Khisto K. Radev Prof. Dr.-Tech. Sc. habil., Professor at the Technical University of Sofia, Sofia, Bulgaria.

Michailo I. Chernovol Prof. Dr.-Tech. Sc. habil., corresponding member of the Ukrainian Academy of Agrarian Science, Rector of the Kirovohrag National Technical University, Kirovohrag, Ukraine.

Krzysztof Ostrowski. Ph.D. DSc. Prof., Dean in University of Agriculture in Krakow. Poland.

Janusz Mieczyski. Ph.D. DSc. Prof Head of Department in University of Agriculture in Krakow. Poland.

Jozef Chojnicki Ph.D., Prof, Vice Dean Of Warsaw University Of Life Sciences, Poland.

Serhiy Kovala Ph.D., MBA, Senior Lecturer in the department of Informatics and Operations Management, Faculty of Business and Law Kingston University.

Yahya S.H. Khraisat Ph.D., Al-Balda Applied University / Al-Huson University College, Irdan, Jordan.

Managing editor:

Shelukha O.

Suggested for print by the Academic Senate Aerospace faculty NAU (protocol № 8 from 28. 05. 2020)

Integrated Intellectual Robotechnical Complexes (IIRTC-2020). 13<sup>th</sup> International Science and Technical Conference, May 19-20th, 2020, Kyiv, Ukraine – K.: NAU, 2020. – 305p. (collected articles)

Include the scientific, experimental and theoretical results of researchers and PhD students.

Conference materials are useful for scientific researches, engineers and technicians, PhD students and graduating students, there specialisation focus on the robotechnical execution systems and progressive information technologies.

Conference journal „IIRTC 2020“:  
Department of Computerized Electrical Systems Technologies  
National Aviation University,  
Building No. 11, Office No. 402,  
Kosmonavta Komarova ave. 1 Kiev, Ukraine 03680  
e-mail: [iirtk.nau@gmail.com](mailto:iirtk.nau@gmail.com)  
[kvp@nau.edu.ua](mailto:kvp@nau.edu.ua)

## ORGANIZING COMMITTEE

### Head of committee:

Volodymyr P. Kvasnikov Prof. Dr.-Tech. Sc., Head of department of computerized electrical systems and technologies at the National Aviation University, Honoured Metrologist of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

### Assistant chief:

Volodymyr V. Drevetsky Prof. Dr.-Tech. Sc., Vice President of the Engineering Academy of Ukraine, head of Department of Automation, Electrical Engineering and Computer-Integrated Technologies of the National University of Water and Environmental Engineering, Rivne.

### Members:

Vasiliy V. Kukharchuk Prof. Dr.-Tech. Sc. Head of the Theoretical Electrical Engineering and Electrical Measurement department Vinnytsia National Technical University.

Mykola D. Koshowy Prof. Dr.-Tech. Sc., Head of the “aviation devices and measurements” department at the Zhykovsky National Airspace University „Kharkiv Aviation Institute“, National prize-winner in technique and science field, Kharkiw.

Volodimir V. Koval’chuk Prof. Dr.-Tech. Sc. Director of the Odessa College of Information Technology.

Volodymyr L. Makarov Academician of the Ukrainian National Science Academy, Prof. Dr.-Tech. Sc., head of the numerical mathematics department of the institute of mathematics UNSA, Kyiv.

### Supervisors:

Shelukha O. asistant, department of computerized electrical systems and technologies  
Isachenko A. postgraduate student, department of computerized electrical systems and technologies  
Petrov Y.  
Slesarenko K.

Organizing Committee (work group): Dubyna P., Ilchenko V., Isachenko A., Kataeva M., Kochetkova O., Leshchenko Y., Omolosky O., Petrov Y., Stakhova A., Shelukha O., Slesarenko K.

## ЗМІСТ

<b>СЕКЦІЯ 1. Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси</b>	13
<b>Андрєєва О.В.</b> – Особливості застосування мереж з комірчастою топологією у цифрових будинках	14
<b>Андріяш Ю. Ю., Катаєва М. О.</b> – Дрони в сучасному світі	17
<b>Білоус Є.І., Нестеренко О. І.</b> – Визначення параметрів морської хвилі за допомогою безплатформної інерціальної курсовертикалі	18
<b>Древецький В.В., Ковела І.М.</b> – Синтез і аналіз систем з ідеалізованим ПД-регулятором	21
<b>Дядюн С. В.</b> – Майбутнє штучного інтелекту	24
<b>Жабко В.В.</b> – 3d-принтери в сучасному світі	27
<b>Жуков Б.С.</b> – Програмна система забезпечення технології доповненої реальності для візуалізації тривимірних об'єктів	29
<b>Квасніков В.П., Запоточний Р.М.</b> – Геодезичні прилади в системах моніторингу технічного стану мостових конструкцій	31
<b>Коваленко Ю.</b> – Інтегрована інтелектуальна робототехніка	34
<b>Нахаба О.О.</b> – Мультироторний (24-роторний) конвертоплан дискольотної форми (багатодвигуневий мультироторний конвертоплановий дисколіт) з децентралізованою системою роздільного паралельного керування його двигунами	36
<b>Руденко В.Г.</b> – Системи підтримки прийняття рішень оперативно-диспетчерського персоналу електричних мереж	38
<b>Трофименко М.С.</b> – Розробка програмного забезпечення задачі обходу перешкод для керування мобільним роботом	41
<b>Чубай Н.М., Аврука І.С.</b> – Розумний будинок: обмін інформацією бездротовими каналами зв'язку	43
<b>Шелуха О.О.</b> – Система траєкторного стеження для мобільних комплексів	46
<b>Шостак І.В., Данова М.О., Феоктистова О.І.</b> – Підхід до роботизації процесів функціонування системи «розумний будинок» на основі технології інтернету речей	48
<b>СЕКЦІЯ 2. Авіаційна та космічна техніка</b>	50
<b>Безвесільна О.М., Морозов А.В.</b> – Безпілотний літальний апарат, переваги, особливості, основні компоненти	51
<b>Єнчев С.В.</b> – Відмовостійка нечітка система керування авіаційним двигуном з вільною турбіною	54
<b>Нахаба О.О.</b> – Мультироторний (48-роторний) конвертоплан дискольотної форми (багатодвигуневий мультироторний конвертоплановий дисколіт) з децентралізованою системою роздільного паралельного керування його двигунами	57
<b>Попов О.В., Савченко І.А.</b> – Необхідність додаткового застосування стандартів iso/іес 31000 в авіаційній галузі в сучасних умовах	59

<b>Рудик А.В., Романцев О.В.</b> – Аналіз навігаційних похибок від релятивістських і гравітаційних ефектів та багатопроменевого поширення сигналу	62
<b>Рудик А.В., Ярош Д.Р.</b> – Аналіз навігаційних похибок, що виникають внаслідок неповного врахування умов поширення радіохвиль	65
<b>СЕКЦІЯ 3. Вимірювальна техніка. Метрологія, стандартизація та сертифікація</b>	68
<b>Beloshitsky P.V., Klyuchko O.M., Bilyk I.I., Beloshitsky A.S.</b> – Technical And Medical Aspects Of Coronavirus Disease Treatment (2019-nCoV)	69
<b>Klyuchko O.M., Gonchar O.A.</b> – Investigation of acute hypoxia and hypoxic-hyperoxic adaptation for the development of novel devices	72
<b>Klyuchko O.M., Piatchanina T.V., Datsko I.R.</b> – Biotechnical expert system for monitoring of harmful chemical substances in environment	74
<b>Navrotskyi D.A., Mykolushko A.N., Lobach I.O., Tyshchuk B.V.</b> – Electronic chemosensitive detectors development for combustion products indication	77
<b>Shutko V.N., Zakhmatov V.D., Kolganova O.O.</b> – Electronic information system for the fire prevention with chemosensitive detectors	80
<b>Безвершнюк К.О., Чувпенюк Т.С.</b> – Аспекти підвищення якості надання медичної допомоги	82
<b>Безвесільна О.М., Котляр С.С.</b> – Індуктивні інкрементні перетворювачі для вимірювання лінійних величин	84
<b>Безвесільна О.М., Мельниченко М.А., Чепюк Л.О.</b> – Вимірювання горизонтальних збурюючих прискорень системи стабілізації	86
<b>Безвесільна О.М., Морозов А.В.</b> – Дослідження методів та засобів зменшення дискретності квантування вихідного сигналу кільцевого лазера	88
<b>Безвесільна О.М., Нечай С.О., Чепюк Л.О.</b> – Інтерпретація вимірів вібраційного чутливого елемента системи стабілізації	91
<b>Граняк В.Ф., Кухарчук В.В.</b> – Математична модель ємнісного мікромеханічного акселерометра	94
<b>Довгань В.В., Орнатський Д.П., Нікітенко Д.В.</b> – Вимірювальний канал системи контролю та діагностики підшипників кочення роторних машин	97
<b>Доставалов В.В.</b> – Модернізація фотометричного методу для отримання рухомої 3д моделі	99
<b>Катаєва М.О., Юрчук А.О.</b> – Розробка методу підвищення точності нановимірювань	102
<b>Костик І.В., Матіко Ф.Д., Роман В.І.</b> – Дослідження впливу конструктивних особливостей вимірювального трубопроводу на точність вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску	104
<b>Кузьмич Л.В., Кузьмич А.А.</b> – Принципи побудови автоматизованої системи дистанційного моніторингу та контролю технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури водогосподарсько-меліоративного комплексу	107

<b>Макаров Я.В., Киричук Ю.В.</b> , – Завдання і гіпотези при створенні оптимізованої моделі руху робота-гексапода	110
<b>Матіко Ф.Д., Матіко Г.Ф., Крих Г.Б.</b> – Визначення коефіцієнта витрати сопла пальника за результатами експериментальних досліджень	112
<b>Матус С.К., Квасніков В.П.</b> – Прецизійні п'єзоелектричні мікронасоси точного дозування рідин	114
<b>Мащенко В.А.</b> – Метод та приладова система для визначення модулів пружності третього порядку твердих тіл	117
<b>Назаренко Н.М., Киричук Ю.В.</b> – Кварцеві герметизовані термоперетворювачі	119
<b>Орнатський Д.П., Вітрук Ю.В., Добржанська Б.В.</b> – Аналоговий інтерфес для комп'ютеризованої системи керування вітроелектростанцією	122
<b>Орнатський Д.П., Кривокульська О.О.</b> – Вимірювальна система для неруйнівного контролю металевих прутків	125
<b>Подчашинський Ю.О., Воронова Т.С., Чепюк Л.О.</b> – Методи вейвлет-кодування відеозображень з вимірювальною інформацією про геометричні параметри об'єктів	128
<b>Подчашинський Ю.О., Чепюк Л.О., Шавурська Л.Й.</b> – Математичні моделі для визначення геометричних параметрів текстур поверхні промислових виробів	131
<b>Реут Д.Т., Древецький В.В.</b> – Підвищення точності класифікації мікропланктону при неперервному вимірюванні його концентрації	134
<b>Середа В.В., Горін В.В.</b> – Вплив параметрів двофазного потоку на гідравлічний опір при конденсації холодоагентів у середині горизонтальних труб	136
<b>Серкіз О.Р., Бойко М.В., Тодавчич В.І.</b> – Напівавтоматичне дозуюче обладнання для фасування сипких продуктів схильних до пиління	140
<b>Солдатов В.В.</b> – Формування фізичної шкали вихідного сигналу групового еталона часу і частоти utc (ua)	142
<b>Федоришин Р. М., Пістун О. І.</b> – Моделювання похибки вимірювання об'єму природного газу для імпульсного режиму потоку в системі обліку	145
<b>Филоненко С.Ф.</b> – Трансформація сигналів акустической емісії при руйнуванні композита по критерію мизеса	148
<b>Шлома А.І.</b> – Аналіз актуальних пропозицій у вирішенні питань метрологічного забезпечення неруйнівного контролю	150
<b>Квасніков В.П., Галицький В.А.</b> – Досягнення високих показників при виготовленні чутливих елементів інерційних навігаційних систем	152
<b>Кузьмич Л.В., Кузьмич А.А.</b> – Принципи побудови автоматизованої системи дистанційного моніторингу та контролю технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури водогосподарсько-меліоративного комплексу	155
<b>Паращанов В.Г.</b> – Метрологічне забезпечення випробування прецензійних деталей після їх відновлення	158

<b>Сковородкіна Ю.Н.</b> – Розробка вимог до 3-Д зразка для калібрування координатно-вимірювальної машини з урахуванням міжнародних стандартів	160
<b>СЕКЦІЯ 4. Енергетика, електротехнічні системи, світлотехніка</b>	162
<b>Kulakovskiy L.</b> – Implementation of the neural networks for forecasting operating regimes of wind power plant	163
<b>Бірюков А.О.</b> – Моделювання силового кабеля електродвигуна вп електростанції для оцінки імовірності відмови	166
<b>Борковська Л.О., Борковський О.В., Кочеткова О.В.</b> – Дослідження сучасних електричних систем	169
<b>Василець С.В., Василець К.С.</b> – Математичне моделювання перехідних процесів при комутації igbt у складі трифазного інвертора напруги	172
<b>Гаращенко В.І., Гаращенко О.В., Соляк Л.В.</b> – Електромагнітний аналізатор феромагнітних домішок	175
<b>Гудь В.М., Сімухов В.Д., Лазутчик А.С.</b> – Дослідження магнітних систем зі збудженням від постійних магнітів	178
<b>Дев'яткіна С.С.</b> – Моделювання ризиків зіткнення повітряного судна з глісадними вогнями злітно-посадкової смуги	180
<b>Дев'яткіна С.С., Ванецян С.Г.</b> – Система електропостачання візуальних засобів забезпечення польотів на аеродромах цивільної авіації	183
<b>Красовський П.О., Місан Н.А.</b> – Інноваційний синтез модульної електромеханічної системи для роботизованого маніпулятора сталевих труб	186
<b>Михайленко В.В., Чибеліс В.І., Зіменков Д.К.</b> – Аналіз електромагнітних процесів у напівпровідниковому перетворювачі з двенадцятизонним регулюванням вихідної напруги і активно-індуктивним навантаженням	191
<b>Молчанов О.В., Молчанова К.В.</b> – Вибір кабелю для системи аеродромних вогнів із паралельною схемою живлення	194
<b>Пітяков О.С.</b> – Фотобіологічна безпека та якість фотополімеризації – основні фактори в організації штучного освітлення стоматологічного кабінету	197
<b>Шинкаренко В.Ф., Лихогуб А.П.</b> – Генетичний синтез електромеханічних систем багатокординатного руху на основі уніфікованих модулів	200
<b>Юрченко О. М.</b> – Новітні електричні двигуни	205
<b>Юрчук А.О., Катаєв Д.А.</b> – Оптимізація системи освітлення за допомогою технології «Human Centric Lighting»	207
<b>Кулик Н.І., Штундер Ю.М.</b> – Система позиціонування сонячної панелі в залежності від положення Сонця	209
<b>СЕКЦІЯ 5. Інформаційні технології в приладобудуванні та машинобудуванні. Нафтогазові технології</b>	212
<b>Olefir O.S., Khvorostianyi V.</b> – Image recognition on a digital picture using deep learning techniques	213

<b>Ostapchuk V.V., Verzhikovskiy O.P.</b> – Google cloud vision using in the automatic sorting system	215
<b>Stakhova A., Babii M.</b> – The role of light in data transfer technology	217
<b>Андрєєва О.В.</b> – Вплив інтелектуальних рішень на рівні небажаного випромінювання у цифровому будинку	220
<b>Гаращенко О.В., Гаращенко В.І.</b> – Метод контролю процесу магнітного осадження феромагнітних домішок водних середовищ	222
<b>Граф М.С.</b> – Побудова алгоритму траєкторії руху безпілотного повітряного судна з втратою висоти	225
<b>Данченков Я.В.</b> – Побудова математичної моделі контуру регулювання «рівень – концентрація» при очищенні газового конденсату виробництва аміаку	228
<b>Данченков Я.В., Тарас Б.І., Лещук Д.О.</b> – Система автоматичного регулювання співвідношення газ-повітря у котлоагрегатах водогрійного типу по його ккд	230
<b>Єгоров С.В., Шкварницька Т.Ю.</b> – Збільшення пропускної здатності каналу передачі інформації методом багатопоточного передавання даних	233
<b>Клепач М.М.</b> – Перехідні характеристики системи управління маніпулятором паралельної структури для координатно-вимірювальних машин	235
<b>Коваленко О.О., Васильченко В.Ю., Скоромний В.І.</b> – Розрахунок деталей на міцність та тепловий аналіз методами кінцевих елементів в MATLAB	238
<b>Коваленко О.О., Крейда А.М., Шарапа В.М.</b> – Оптимізація параметрів технічних пристроїв у складі САПР	241
<b>Ковальчук В.В., Мамука К.В.</b> – Властивості керметних плівок атомарно-кластерної дисперсності	245
<b>Ковальчук В.В., Смерж М.В.</b> – Пристрій з нанокластерною підсистемою	247
<b>Любченко В.В.</b> – Визначення інтенсивності потоку в комп'ютерних системах із неоднорідним трафіком	249
<b>Малашенко В.М., Стрілець О.Р., Андрушков В.І., Стрілець В.М.</b> – Обґрунтування будови та принципу роботи муфти фланцево-пальцевої пружної запобіжної	251
<b>Паздрій О.Я.</b> – Підвищення ефективності дворівневої обробки інформації для багатокласової системи діагностики складної обертової системи	254
<b>Приз В.А.</b> – Узагальнена структурна схема верстата з числовим програмним керуванням	256
<b>Стрілець О.Р.</b> – Застосування 3-d моделювання для оптимізації розмірів при проектуванні зубчастого диференціала з замкнутою гідросистемою при керуванні швидкістю через водило	258
<b>Строкач Г.Ю., Сапегін О.М.</b> – Фільтр маджвіка в алгоритмі інклінометра	261
<b>Хайдуров В.В.</b> – Применение прикладных программных пакетов MATLAB и Comsol Multiphysics при исследовании волновых процессов в твердых телах	263

<b>Яворський І.М., Юзефович Р.М., Курапов П.Р.</b> – Аналіз кореляційних властивостей перетворення гільберта періодично нестационарного випадкового сигналу	266
<b>СЕКЦІЯ 6. Захист інформації та телекомунікаційні системи</b>	268
<b>Андрєєва О.В.</b> – Концепції розвитку безпроводних рішень для охоронних функцій цифрового будинку	269
<b>Бойченко О.В.</b> – Современные аспекты киберугроз: проблемы и пути их решения	272
<b>Жук І.С., Чертов О.Р.</b> – Використання математичного апарату наближень Степанця для виявлення штучних втручань у сигналах різної природи	276
<b>Орлова М.М., Коркішко А.О.</b> – Порівняльний аналіз технології blockchain з використанням підходів Proof Of Work, Byzantine Fault Tolerance та GOSSIP	279
<b>Сміюн І.В., Орлова М.М.</b> – Забезпечення інформаційної безпеки на основі технології Blockchain	281
<b>Судаков В.Р., Зайко Т.А.</b> – Екзотична реалізація алгоритмів як механізм захисту програм і даних	283
<b>СЕКЦІЯ 7. Економіка промисловості</b>	285
<b>Trus I., Gomelya M., Hlushlo O., Vozna I.</b> – Technical and economic assessment of innovative membrane technologies	286
<b>Ричка М.А.</b> – Вплив інфляції на економіку промисловості	289
<b>СЕКЦІЯ 8. Військово-технічні проблеми та освіта</b>	292
<b>Споришев К.О., Семенко Є.Ю., Майборода І.М.</b> – Тенденції застосування систем управління силами відомств охорони правопорядку провідних країн світу	293
<b>Чередніков О.М., Чуприна В.М.</b> – Визначення параметрів та чинників математичних моделей щодо оцінки експлуатаційних характеристик об'єктів випробувань	296
<b>Яковлев М.Ю., Горелишев С.А., Семенко Є.Ю.</b> – Аналіз військових систем управління військами у формуваннях аналогічних Національній гвардії України	299
<b>Наливайко А.Д., Поляєв А.І.</b> – Оборонний менеджмент в державах-членах НАТО	302

## **СЕКЦІЯ 1**

### **Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси**

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕРЕЖ З КОМІРЧАСТОЮ ТОПОЛОГІЄЮ У ЦИФРОВИХ БУДИНКАХ

Андрєєва О.В., доцент, НТУ України «КПІ ім.І.Сікорського»,  
[elvian44@gmail.com](mailto:elvian44@gmail.com)

Комірчаста топологія побудови каналів зв'язку забезпечує альтернативні варіанти переміщення даних (маршруту) до кінцевої точки поміж вузлами мережі. Це означає, що інформація у будь-якому разі не буде втрачена і досягне цілі. Саме такий варіант гарантує високу надійність зв'язку у разі виходу з ладу деяких вузлів мережі.

Застосування комірчастої топології надає системі не тільки високу надійність зв'язку, але й забезпечує достатньо високу швидкість передавання даних (зазвичай до 250кбіт/с), яка досягається в діапазоні частот 2,4 ГГц. Висока ступінь захисту інформації зберігається також і при збільшенні зони покриття. Сьогодні комірчаста топологія використовується переважно у технологіях ZigBee, Z-Wave, Insteon та їх відгалуженнях.

ТЕХНОЛОГІЯ ZigBee. Всі технології мають відмінності побудови, певні переваги і недоліки при використанні, але найбільш показово комірчаста технологія реалізована в технології ZigBee. Вона являє собою найбільш продвинуту надбудову до стандарту IEEE 802.15,4. Зігзагоподібний рух даних через вузли мережі нагадує якби політ бджоли. Звідси і назва технології - ZigBee. Дальність розповсюдження сигналів 30... 50м. Однак при певних умовах (наявності зовнішніх підсилювачів та антен) дальність можна збільшувати до 100м без значних втрат щодо швидкості. Всі гаджети у середині мережі розподіляються на три класи:

- координатор (zc);
- маршрутизатор (ZR);
- кінцеві пристрої (ZED).

Координатор ZC є обов'язковим компонентом системи. Він формує древо мережі. Пропускна здатність мережі залежить від обраної частоти. Максимальна швидкість передавання даних 250 кбіт/с досягається у діапазоні 2,4 ГГц (16 каналів з кроком 5МГц). Для частоти 868 МГц (1 канал) та 902-928 МГц (10 каналів з кроком 2 МГц) швидкості передавання даних відповідно дорівнюють 20 Кбіт/с та 40 Кбіт/с.

Безпроводні мережі короткого радіусу дії можуть взаємодіяти поміж собою. Спеціальне обладнання виконує функції шлюзу між різними мережами зв'язку. Якщо розглядати реалізацію охоронних функцій у цифровому будинку, то надійність роботи можна забезпечити іноді поєднанням функцій. Наприклад, якщо система ZigBee виявила на території цифрового будинку порушника, то

вона може з'єднатися з мережею IEEE 802.11 і задіяти до роботи головний комп'ютер та охоронну службу.

Технологію ZigBee доцільно використовувати для передавання невеликих об'ємів даних від багатьох джерел (датчиків, сповіщувачів). При цьому датчики можуть мати батарейне живлення. Технологія ZigBee дає можливість реалізувати радіоканали для збору даних у діапазоні частот 868/915 МГц та 2,4 ГГц (число каналів від 1 до 16 та швидкості передавання від 20 до 250 кбіт/с).

Технологія ZigBee має відгалуження: ZigBee RF4CE (з передаванням даних по радіоканалу) та ZigBee IP (з використанням дистанційного керування інтелектуальними пристроями). Недоліки ZigBee пов'язані в основному з проблемами сумісної роботи пристроїв від різних виробників.

ТЕХНОЛОГІЯ Z-Wave з'явилась пізніше ZigBee і стала конкурентом ZigBee завдяки ряду особливостей. Ця технологія використовує безпечні для людини малопотужні радіохвилі. Саме тому Z-Wave переважно використовується у європейських країнах. Крім того, Z-Wave забезпечує сумісну роботу пристроїв від різних виробників. Електронні компоненти (пристрої Z-Wave) представляють собою малопотужні мініатюрні модулі. Вони легко вбудовуються у побутову техніку, яка забезпечує освітлення приміщень, опалення, контроль доступу та багато іншого. Сьогодні ринок електроніки пропонує більш як 3000 різноманітних Z-Wave пристроїв, які повністю покривають потреби розумного будинку. Це найбільш популярний проект для об'єктів від 10 до 500м<sup>2</sup>. Основні переваги використання обумовлені такими особливостями, як

- дистанційне керування пристроями;
- низьке енергоспоживання;
- частотний діапазон.

Працює Z-Wave у діапазоні безпечних для людини частот до 1 ГГц (на відміну від популярного та перевантаженого діапазону 2,4 ГГц). Технологію Z-Wave краще використовувати для передавання простих команд керування пристроями комфорту.

Радіочіпи для пристроїв поставляють компанії Sigma Designs та Mitsume. Також компанію Fibaro вважають виробником найбільш популярних Z-Wave пристроїв для домашньої автоматизації, які складають велику лінійку цікавих сучасних компонентів. Технологія Z-Wave, як і технологія ZigBee, використовує топологію mesh-мережі з підтримкою ретрансляції. Як видно, переваг для використання у цифрових будинках є багато, але розповсюджена ця технологія порівняно з ZigBee сьогодні менше.

Головний недолік технології Z-Wave, який знижує її розповсюдження, пов'язують з непромірно високою ціною пристроїв (приблизно у 2 рази вище порівняно з ZigBee – пристроями). Середня вартість основних пристроїв складає

60-80 євро. Технологія Z-Wave має відгалуження: Z-Wave Plus (mesh-мережі) і Open Z-Wave (з відкритими початковими кодами).

ТЕХНОЛОГІЯ Insteon є продуктом компанії “Smart Labs”. Порівняно з технологіями ZigBee та Z-Wave забезпечує найбільш високу ступінь надійності передавання даних.

Особливості побудови базуються на використанні одразу двох каналів для передавання даних (провідного та безпровідного). Являє собою, так званий, гібридний варіант побудови каналу зв'язку.

Мережа Insteon може працювати без центрального процесора, тобто ця структура не розділяє пристрої на три класи: ZC, ZR та ZED.

Першу складову середовища Insteon може забезпечити електропровідка помешкання. Частота  $f = 131,65$  кГц не створює перешкод для роботи звичайного побутового обладнання.

Друга складова Insteon – це безпровідна, яка реалізується завдяки радіосигналам. Європейські пристрої спілкуються на частоті 869,85 МГц, американські пристрої – на частоті 915 МГц).

У ряді випадків технологія Insteon може забезпечити дуже простий варіант збірки і налаштування. У системі датчики можуть виступати у ролі повторювачів. При необхідності забезпечити більш чутливе налаштування пристроїв у цифровому будинку розробники рекомендують використовувати Insteon Hub (центральний комп'ютер).

Технологія Insteon, на перший погляд, має багато переваг порівняно з технологіями ZigBee та Z-Wave (особливо по надійності передавання інформації), але відомі розробники обладнання для цифрового будинку поки що не поспішають забезпечувати її втілення у широких масштабах.

Технології Z-Wave та Insteon на сьогодні вважаються конкурентами ZigBee.

Слід відмітити, що всі технології з комірчастою топологією розвиваються дуже стрімко та непередбачено. Домінує поки що технологія ZigBee та її відгалуження. Все залежить від появи на світовому ринку нових надійних компонентів для побудови певної мережі.

Ряд зарубіжних компаній (наприклад, Хіаомі та Apple) спеціалізуються виключно на випуску нових пристроїв для реалізації різноманітних функцій цифрового будинку. Приваблюють нові рішення для керування пристроями з протилежного кінця планети або рішення для підтримки відразу декількох протоколів: Wi-Fi, ZigBee, Z-Wave.

Ключові слова: цифровий будинок, технології зв'язку.

## ДРОНИ В СУЧАСНОМУ СВІТІ

Андріяш Ю. Ю., студент, НАУ

Катаєва М. О., к.т.н., НАУ

Створення і використання безпілотних літальних апаратів – стало серйозним проривом в області інтелектуальних досягнень. Інновації використанні у всіх елементах цих пристроїв: від сучасних композитних матеріалів до новітнього навігаційного обладнання.

Дрон – літальний апарат, який літає та сідає без фізичної присутності пілота на його борту.

В сучасному світі безпілотні літальні апарати або як їх ще називають дрони не так давно використовувалися лише військовими та вченими. Вони щільно увійшли в наше сучасне життя.

Дрони використовують найрізноманітніші функції такі як: доставка їжі і товарів, гасіння пожежі в складних умовах, спостереження за станом рослин та ґрунту, стеження за худобою та дикою природою, забезпечують постання їжі та ліки у важкодоступні райони, надавання інформації з місць бойових дій, масштабних заходів та спортивних змагань, зйомка фантастичних та вражаючих матеріалів, допомога працівникам у медичній, науковій та військовій справах.

Наприклад в Австралії, дрон-швидка в корпусі якого знаходиться дефібрилятор, допомагає надати медичну допомогу до приїзду медиків, також дрони-рятувальники будуть доставляти потопаючим рятувальні круги і кисневі балони. Дрони є корисні фермерам в господарстві за допомогою дронів проводять зрошення полів, вносять добрива і пестициди а також здійснюють контроль над посівами.

Отже, літальні апарати дають величезні переваги, дозволяють вирішити величезну кількість масштабних завдань. Великі компанії фінансують створення нових моделей з більш серйозним функціоналом, покликаним збільшити прибутки від їх діяльності. Державні служби використовують їх з метою захисту і безпеки людей, медики за допомогою безпілотників рятують життя, армія використовує їх для ведення бойових дій. А звичайні люди насолоджуються можливістю побачити світ з нового ракурсу, насолодитися красою і неповторним зачаруванням планети.

### Література

1. Стеценко О. О. Космічні системи інформаційного забезпечення безпілотних засобів різного призначення: підручник / О. О. Стеценко, Ю. Г. Даник, М. С. Пастушенко. – К.: МО України, 2004. – 298 с.

2. Дубов Д. В. Нові покоління технологій подвійного призначення, як інноваційні детермінанти розвитку сфери Національної безпеки та оборони / Д. В. Дубов // Стратегічні пріоритети. – К., 2014. – Вип. 4 (33). – С.106–113

3. Шулежко В. В. Основні напрямки розвитку та застосування безпілотних літальних апаратів: підручник / В. В. Шулежко. – К.: МО України, 2013. – 65 с.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОРСЬКОЇ ХВИЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПЛАТФОРМНОЇ ІНЕРЦІАЛЬНОЇ КУРСОВЕРТИКАЛІ

**Білоус Є. І.**, аспірант, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
bilouseugene@gmail.com

**Нестеренко О. І.**, к.т.н., доцент, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
oleg.i.nesterenko@gmail.com

На сьогоднішній день визначення параметрів морської хвилі має широкий спектр застосувань, включаючи системи навігації в морських структурах, системи раннього попередження при екстремальних погодних умовах та ін. Параметри хвилі також використовуються для перевірки прогнозних моделей, які дозволяють робити локалізовані передбачення умов на кілька днів вперед.

Для визначення параметрів морської хвилі використовуються так звані датчики хвиль (Wave sensors), які, як правило, встановлюють на океанічні буї (рис. 1). Вони дають можливість проводити автоматизований моніторинг параметрів хвилі та погодних умов у морі. Такі системи є високоточними та надійними, проте для багатьох наукових та промислових підприємств їх вартість занадто висока.

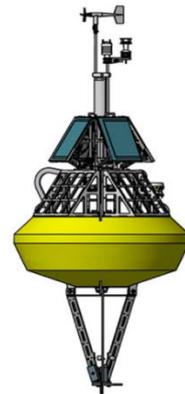


Рис. 1.  
Океанічний буй

Дана робота присвячується розробці алгоритму визначення параметрів морської хвилі з використанням вимірювань безплатформної курсовертикалі (БКВ), побудованої на магнітометрах та мікромеханічних гіроскопах і акселерометрах.

В якості вхідних даних запропонованого алгоритму виступають сигнали акселерометрів та кути орієнтації об'єкта, отримані з БКВ. Використовуючи матрицю напрямних косинусів  $C^{gb}$  вимірювання акселерометрів перепроєктуються зі зв'язаної з об'єктом системи координат до географічної системи координат (ГСК):

$$\begin{bmatrix} a_E \\ a_N \\ a_V \end{bmatrix} = C^{gb} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де  $E$  – east (схід),  $N$  – north (північ),  $V$  – vertical (вертикаль). Також необхідно вилючити значення прискорення сили тяжіння Землі  $g$  з вертикальної проекції прискорення.

Шляхом подвійного інтегрування відповідних проекцій прискорення розраховуються значення переміщення об'єкта у північному  $\Delta^N$ , східному  $\Delta^E$  та вертикальному  $\Delta^V$  напрямку.

Використовуючи обраховані проекції переміщення об'єкта можна сформулювати відповідну множину проекцій в часовому поданні. Після чого

переміщення необхідно представити у частотному поданні, для цього виконується процедура швидкого перетворення Фур'є (Fast Fourier Transform).

Отримані ряди Фур'є складаються з набору відповідних коефіцієнтів Фур'є, які в свою чергу складаються з реальної і уявної частини. Таким чином, можна обрахувати шість компонентів Фур'є  $\alpha_f^E, \beta_f^E, \alpha_f^N, \beta_f^N, \alpha_f^V, \beta_f^V$  на кожній частоті  $f$ , які у векторній формі мають наступний вигляд:

$$\begin{aligned} A_f^E &= \alpha_f^E + i \cdot \beta_f^E, \\ A_f^N &= \alpha_f^N + i \cdot \beta_f^N, \\ A_f^V &= \alpha_f^V + i \cdot \beta_f^V. \end{aligned} \quad (2)$$

Використовуючи отримані коефіцієнти, можна обрахувати відповідні ко-спектри  $C_f^{jk}$  і квадратурні спектри  $Q_f^{jk}$ , де  $j, k$  – індекси відповідних проекції ( $E, N, V$ ):

$$\begin{aligned} C_f^{jk} &= \overline{A_f^j} \cdot \overline{A_f^k} = \alpha_f^j \alpha_f^k + \beta_f^j \beta_f^k, \\ Q_f^{jk} &= \overline{A_f^j} \times \overline{A_f^k} = \alpha_f^j \beta_f^k - \beta_f^j \alpha_f^k \end{aligned} \quad (3)$$

Для визначення основних параметрів хвилі, необхідно визначити переважаючу частоту  $f_s$ , що відповідатиме необхідним коефіцієнтам  $\alpha_f^{jk}$  та  $\beta_f^{jk}$ . Для цього необхідно виділити максимальне значення спектральної щільності потужності для спектру вертикального руху  $C_f^{VV}$  та відповідну їй частоту, яка є еквівалентом переважаючої частоти хвилі  $f_s$ .

Використовуючи розраховані спектри вирази спектрів  $C_{f_s}^{jk}$  та  $Q_{f_s}^{jk}$  (далі індекс  $f_s$  буде опущено) можна обрахувати перші чотири коефіцієнти Фур'є нормалізованого спрямованого розподілу хвилі  $G(\theta, f_s)$  [1]:

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{Q^{NV}}{\sqrt{(C^{NN} + C^{EE})C^{NN}}}, \\ b_1 &= \frac{Q^{EV}}{\sqrt{(C^{NN} + C^{EE})C^{NN}}}, \\ a_2 &= \frac{C^{NN} - C^{EE}}{C^{NN} + C^{EE}}, \\ b_2 &= \frac{2C^{NE}}{C^{NN} + C^{EE}}. \end{aligned} \quad (4)$$

$$G(\theta, f_s) = \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{1}{2} + a_1 \cos \theta + b_1 \sin \theta + a_2 \cos 2\theta + b_2 \sin 2\theta + \dots \right\}.$$

Отримані коефіцієнти Фур'є (4) використовуються для розрахунку основних параметрів хвилі, таких як: напрямок, період, спектральна щільність

потужності, енергія, еліптичність та спрямованість розповсюдження хвилі.

Напрямок хвилі  $D_w$  це кут між напрямком руху води та напрямком на північ, розрахований на переважаючій частоті  $f_s$ :

$$D_w = \text{atan}\left(\frac{b_1}{a_1}\right) = \text{atan}\left(-\frac{Q^{EV}}{Q^{NV}}\right). \quad (5)$$

Період хвилі  $T_w$  розраховується як зворотна величина переважаючої частоти  $f_s$ :

$$T_w = \frac{1}{f_s}. \quad (6)$$

Для експериментальної перевірки коректності роботи запропонованого алгоритму було проведено напівнатурне моделювання в програмному середовищі MATLAB. Для проведення випробувань було використано стенд імітування поведінки буя на хвилі. В якості БКВ використовувалась морська курсовертикаль MRU (Motion Reference Unit) фірми Inertial Labs [2]. В результаті було перевірено точність визначення двох параметрів: напрямок та період хвилі (рис. 2).

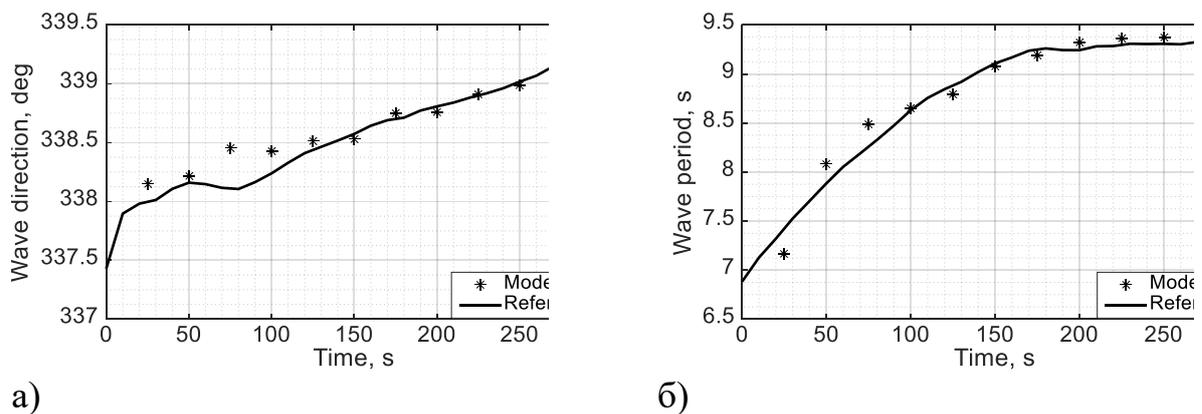


Рис. 2. Результати моделювання  
а) напрямок хвилі; б) період хвилі

В результаті випробувань було підтверджено коректність роботи запропонованого алгоритму визначення параметрів морської хвилі з використанням кутів орієнтації об'єкта та вимірювань акселерометрів БКВ.

На даному етапі роботи перевірка решти параметрів є неможливою через відсутність еталонних значень цих параметрів для порівняння. Тому напрямком подальшої роботи є пошук шляхів оцінки точності визначення усіх параметрів хвилі та дослідження особливості роботи алгоритму при зовнішніх збуреннях.

### Література

1. Longuet-Higgins M. S. Observation of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy / M. S. Longuet-Higgins, D. E. Cartwright, N. D. Smith. // Ocean wave spectra, Prentice-Hall. – 1963. – pp.111-136
2. MRU-E – Motion Reference Unit Enhanced [Online]. Available: [https://inertialabs.com/static/pdf/MRU\\_Datasheet.rev1.5\\_April27\\_2018.pdf](https://inertialabs.com/static/pdf/MRU_Datasheet.rev1.5_April27_2018.pdf)

## СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМ З ІДЕАЛІЗОВАНИМ ПІД-РЕГУЛЯТОРОМ

**Древецький В.В.**, д.т.н., професор, Національний університ водного господарства та природокористування, [westra.rv@ukr.net](mailto:westra.rv@ukr.net)

**Ковела І.М.**, к.т.н., доцент Національний університ «Львівська політехніка»

Під-регулятори, які формують регулюючу дію залежно від помилки регулювання, інтегралу та похідної від неї, дають змогу ефективно компенсувати дію збурень в широкому діапазоні частот і забезпечують динамічну точність загалом вищу, ніж ПІ-регулятори.

Практична значимість ПІД-регуляторів безсумнівно збережеться і в майбутньому. Ця впевненість підкріплюється тим, що алгоритм їх функціонування вдало імітує роботу досвідченого оператора, що здійснює переміщення регулюючого органу, враховуючи, як відхилення регульованої величини, так і швидкість її зміни, а, можливо, й її прискорення.

Водночас, системи з ПІД-регуляторами більш чутливі до відхилень параметрів настроювання від їх оптимальних значень, що зумовлює жорсткіші вимоги до правильності вибору цих параметрів

Синтез автоматичних систем з ПІД-регулятором в алгоритмічному та обчислювальному аспектах складніший, порівняно з АСР, що функціонують за ПІ-алгоритмом. Це зумовлене багатьма причинами:

- більше число параметрів настроювання, що підлягають визначенню;
- в практиці застосовується значна кількість різноманітних модифікацій ПІД-алгоритму (ідеалізована модель, алгоритми з фільтрами нижніх частот на вході або фільтрами першого чи другого порядку при диференціальній складовій, алгоритми з паралельною структурою), а також алгоритми з двома входами та алгоритми зі зваженим сигналом завдання), реалізація яких призводить до зміни структури системи, оскільки в них одні складові формуються за сигналом помилки а інші - за сигналом регульованої величини;
- неоднозначний вплив параметрів ПІД-регулятора на характеристики системи; зокрема, якщо для ПІ-регулятора можна апріорі стверджувати, що зменшення коефіцієнта підсилення  $K_p$  і збільшення сталої часу інтегрування  $T_i$  при зазвичай існуючій динаміці об'єкта завжди призводять до збільшення запасу стійкості, то для системи з ПІД-регулятором таке твердження може виявитися неправильним [1];
- відмінності у структурі цифрових ПІД-алгоритмів, пов'язані з застосуванням виробниками контролерів різних способів дискретизації складових неперервних ПІД-алгоритмів та методів їх програмної реалізації [2, 3, 4, 5].

Вище згадувалося про позитивний ефект уведення в алгоритм регулювання похідної від помилки. Додатково це можна підтвердити за допомогою порівняльного аналізу систем (рис. 1), які містять об'єкт з математичною моделлю  $W_o(s) = 1/(10s + 1)^3$  і працюють за ПІ- та класичним ідеалізованим ПІД-алгоритмами при однакових параметрах настроювання:  $K_p = 1.55$ ;  $T_i = 13.86$  с, а також  $T_d = 9.49$  с.

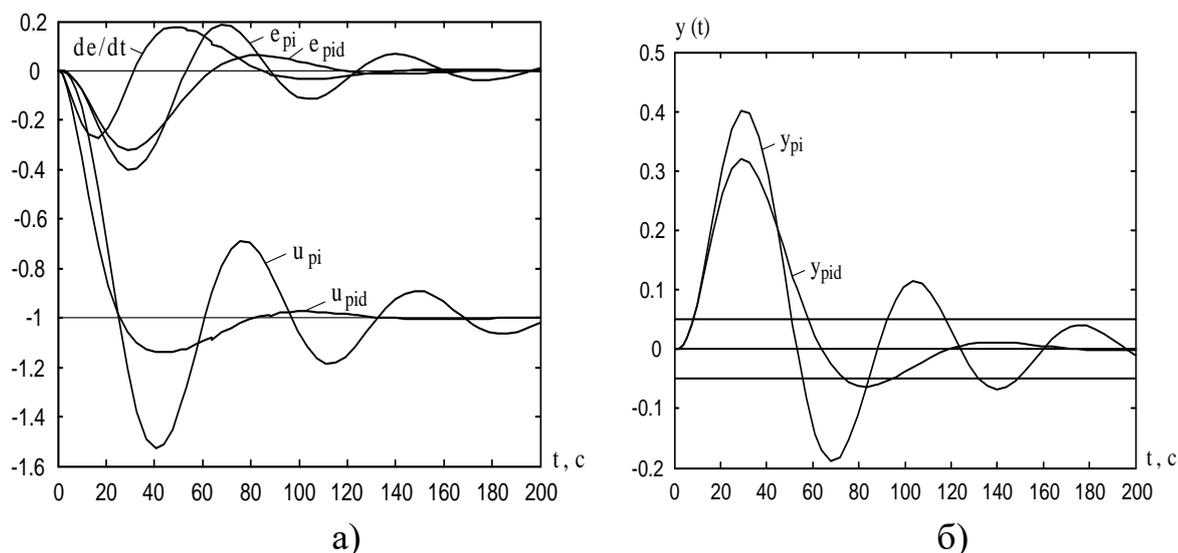


Рис. 1. Перехідні процеси в системах з ПІ- та ПІД-регуляторами при компенсації збурення, що діє на вхід об'єкта

Як видно з рис. 1,а, завдяки похідній по помилці  $de/dt$  в ПІД-регуляторі, порівняно з ПІ-регулятором, суттєво покращується характер зміни регулюючого сигналу  $u_{pid}$  і помилки  $e_{pid}$ . В результаті цього значно покращується характер зміни регульованої величини  $y_{pid}$  (рис. 1,б). Інтегральні квадратичні оцінки процесів, наведених на рис. 1б, становлять відповідно:  $J_{pi} = 4.50$ ;  $J_{pid} = 2.68$ . Таким чином, у цьому прикладі лише за рахунок уведення диференціальної складової досягається покращення якості регулювання в 1.6 разів.

Водночас, необхідно підкреслити, що робочі частоти систем з ПІ- та ПІД-регуляторами суттєво відрізняються [3]. Унаслідок цього, при застосуванні ПІД-алгоритму вимоги щодо швидкодії виконавчого пристрою є більш жорсткими. З урахуванням цієї обставини «загрублення» диференціальної складової в ПІД-регуляторі ослаблює вимоги до швидкодії виконавчого пристрою, що може виявитися суттєвим фактором при практичному застосуванні регулятора.

У більшості публікацій задача синтезу систем з ПІД-регулятором розв'язується на основі його ідеалізованої моделі:

$$W_{pid}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right).$$

Ідеалізований ПІД-алгоритм використовується, головним чином, з метою спрощення розрахунків АСР, хоча не завжди такий підхід може вважатися коректним. Підсилення такого алгоритму при високих частотах прямує до нескінченності, що є наслідком диференціальної складової і зумовлює його низьку завадостійкість.

Як було показано вище, серед трьох можливих варіантів практично використовувати доцільно лише єдиний дискретний аналог неперервного ідеалізованого алгоритму, утворений при однотипній дискретизації його складових за оберненим методом Ейлера.

Такий дискретний алгоритм може бути реалізований фізично і забезпечити максимальне наближення характеристик цифрової системи до неперервного прототипу. В такому розумінні цей алгоритм можна вважати оптимальним.

Незважаючи на досягнення теорії оптимального керування, ПІД-алгоритм, як і раніше, продовжує домінувати в усіх виконаних на найновішій комп'ютерній базі системах автоматичного регулювання, які пропонують провідні світові фірми.

Коло задач синтезу систем з дискретним ідеалізованим ПІД-регулятором обмежується фактично математичними моделями об'єктів, які найчастіше використовуються на практиці.

### Література

1. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. – М.: Энергоатомиздат. 1985. – 296 С.
2. Åström K.J., Hägglund T. Advanced PID Control. ISA-The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2006, 460 p.
3. Бочаров М.Г., Панько М.А. Анализ соответствия реальных и теоретических характеристик микропроцессорных регуляторов // Теплоэнергетика.- 2009. № 10. С. 62 – 67.
4. Ротач В.Я. К расчету оптимальных параметров реальных ПИД регуляторов по экспертным критериям // Промышленные АСУ и контроллеры. 2006. № 02. С. 22-29.
5. Åström K.J., Wittenmark B. Computer-Controlled Systems - Theory and Design, Third Edition. Tsinghua University Press Prentice Hall. 1997.-557 p.

## МАЙБУТНЄ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Дядюн С. В., аспірант ЧНУ ім. Б. Хмельницького

Розуміння штучного інтелекту переважно сприймається суспільством, як творіння далекого майбутнього, але майбутнє вже настало і штучний інтелект стрімко починає входити в наше життя. Наприклад, сервісами Google, які використовують технології штучного інтелекту, ми користуємося кожен день.

Штучний інтелект може принести велику користь людству, а також застосовуватися у багатьох сферах:

- для обробки і аналізу великих обсягів інформації;
- у навчанні;
- в науці;
- охороні здоров'я;
- безпеці автомобільної техніки;
- для більш безпечніших авіаперельотів;
- у судноплаванні;
- фермерському виробництві;
- банківській сфері;
- для боротьби проти злочинності;

та у багатьох інших, підвищуючи продуктивність людини і збільшуючи її можливості.

Водночас, штучний інтелект також може бути застосований у військовій справі і злочинних діях окремих людей.

Використання таких технологій несе нові виклики.

Штучний інтелект зможе як допомогти людству впоратися із багатьма проблемами, так і створити безліч нових. І від того як людина зможе розпорядитися цією технологією, залежить майбутній напрямок розвитку людства.

Розвиток штучного інтелекту знаходиться на початковому рівні і з часом технології будуть удосконалюватися.

Для повноцінного використання складних нейронних мереж та імітації роботи мозку людини обчислювальних потужностей поки що недостатньо. При цьому, вже сьогодні ми спостерігаємо непогані результати в деяких напрямках.

Так, дещо покращила ситуацію компанія Nvidia, яка нещодавно випустила графічні адаптери на архітектурі Turing, з використанням яких навчання відбувається значно швидше, а компанія Intel представила процесори для масового впровадження на основі нової мікроархітектури Ice Lake з підтримкою штучного інтелекту.

Тренуючи нейронну мережу по фотографіях людських облич, був здивований з якою точністю працює розпізнавання, навіть без проблем виявляючи обличчя окремої людини в дитячому віці, тренуючись тільки по зображенням дорослої людини.

З поширенням квантових комп'ютерів можна буде моделювати досить потужні нейронні мережі, де за допомогою паралельних обчислень імітування діяльності мозку людини буде точніше і більш реалістичніше.

Також значну перевагу в деяких напрямках використання штучного інтелекту зможе дати поєднання нейронної мережі з обчислювальними можливостями і практично необмежуваним доступом до даних традиційних комп'ютерів.

При таких обставинах може виникнути проблема співвідношення мислення людини і штучного інтелекту. В повісті українського письменника Ігоря Росоховатського «Останній сигнал», сигом – синтетична розумна істота створена людиною, яка значно перевищує людину інтелектом і можливостями – сприймає людину занадто простою системою, і діє за власним бажанням [1].

Тож ми маємо отримати можливість відслідковувати результати діяльності штучного інтелекту, а штучний інтелект має обов'язково передбачати контроль з боку людини, розроблятися з повагою до інтересів суспільства та прав людини, не зменшувати та не обмежувати право людини на прийняття рішень. Також всі такого типу системи мають бути надійними і безпечними, достатньо стабільними протягом всього періоду свого функціонування.

На думку деяких вчених, штучний і інтелект несе загрозу для людей. Наприклад, Стівен Хокінг вважає що штучний інтелект може знищити людство і його розробку потрібно зупинити [2].

Але технологія штучного інтелекту буде розвиватися в будь-якому разі, і зупинити це неможливо, навіть якщо створення цієї технології буде під заборонаю. Тут мається на увазі змога досягнення штучним інтелектом самосвідомості.

Самосвідомість – це особливий рівень свідомості, на якому здійснюється функція контролю за діяльністю свідомості і підтримки її цілісності. Людство ще не виявило механізму самосвідомості і в найближчому майбутньому штучний інтелект його не набуде. Також не виявлено, як дитина так швидко може засвоювати інформацію, а багато чого вона уже уміє при народженні.

Якщо проводити аналогію з нейронною мережею, людина при народженні уже отримує попередньо навчену нейронну мережу. Є багато гіпотез, які припускають, де в мозку знаходиться центр самосвідомості.

Нещодавно був виявлений нейрон, який проходить через весь мозок і, на думку деяких дослідників, він може бути відповідальний за самосвідомість.

Але, насправді, зародження самосвідомості людини знаходяться на іншому, не досягнутому сьогоднішній день наукою рівні. Тож найближчим

часом саме людина, яка керує штучним інтелектом, буде становити найбільшу небезпеку для інших людей. І протидіяти потужності штучного інтелекту створеного для шкідливих намірів, зможе тільки не менш потужний штучний інтелект, створений людством для захисту.

За останні декілька роки людство накопичило більше знань, ніж за всю свою історію. Зростання кількості доступних знань ускладнює процес управління інформацією, що призводить до інформаційного перевантаження. А обсяг даних досяг рівня, коли його обробка виходить за межі людських можливостей.

І тут спадає на думку висловлювання давньогрецького філософа досократського періоду Анаксагора, який метою життя вважав теоретичні пізнання і розуміючи обмеженість людського розуму, писав: «Нічого не можна цілком дізнатися, нічому не можна цілком навчитися, ні в чому не можна цілком упевнитися: почуття обмежені, розум слабкий, життя коротке» [3].

Наскільки більше насправді ми могли б навчитися, якби краще засвоювали інформацію. Але, намагаючись побільше дізнатися в різних напрямках науки, розуміємо що нічого не можемо вивчити досконало, а сконцентрувавшись на чомусь одному, розуміємо що багато чого залишається поза нашою увагою.

А нам потрібно вирішувати безліч проблем: проблеми миру і роззброєння, екологічна, демографічна, енергетична, сировинна, продовольча проблеми, використання ресурсів планети, мирне освоєння космосу та багато інших.

І наша мета полягає в тому, щоб зробити штучний інтелект максимально корисним для людства.

А його використання потрібно сприймати, як еволюцію інформаційних технологій і інструмент, який в умілих руках зможе стати надійним помічником і допоможе вийти на більш високий рівень технологічного розвитку суспільства.

## Література

1. Ігор Росоховатський. Останній сигнал. – Київ: Молодь, 1989. – С. 301-338.
2. Stephen Hawking. Brief Answers to the Big Questions. 2018. – P. 256.
3. Althoff J. Presocratic Discourse in Poetry and Prose: The case of Empedocles and Anaxagoras. Studies in the History and Philosophy of Science. 2012, Part A, 43: 293-299.

## 3D-ПРИНТЕРИ В СУЧАСНОМУ СВІТІ

Жабко В.В., студент, НАУ

Винайдений науковцем на ім'я Чак Гулл в далекому 1986 році, 3D друк – процес читання цифрової віртуальної 3D моделі з наступною побудовою фізичного об'єкта. У той час, як Гулл заснував найбільшу компанію в світі, його винахід працював виключно на технології, названої стереолітографією (SLA). З тих пір були розроблені численні альтернативні технології 3D друку, такі як Моделювання методом наплавлення (FDM), Наплавлення нитки (FFF), Вибіркове лазерне спікання (SLS), PolyJetting і багато інших, хоча всі вони базуються на пошаровому створенні об'єктів.

3D-друк може здійснюватися різними способами і з використанням різних матеріалів, але в основі будь-якого з них лежить принцип пошарового створення (вирощування) твердого об'єкта. Застосовуються дві принципові технології: лазерна та струменева.

Лазерний друк – ультрафіолетовий лазер поступово, піксель за пікселем, засвічує рідкий фотополімер, або фотополімер засвічується ультрафіолетовою лампою через фотшаблон, мінливий з новим шаром. При цьому він твердне і перетворюється на досить міцний пластик. Лазерне спікання – при цьому лазер випаює в порошок з легкосплавного пластику, шар за шаром, контур майбутньої деталі. Зайвий порошок струшується з готової деталі. Ламінування – деталь створюється з великої кількості шарів робочого матеріалу, які поступово накладаються і склеюються, при цьому лазер вирізає в кожному контур перерізу майбутньої деталі.

Струменевий. Застигання матеріалу при охолодженні – роздавальна голівка видавлює на охолоджувану платформу-основу краплі розігрітого термопластика. Краплі швидко застигають і злипаються один з одним, формуючи шари майбутнього об'єкта. Полімеризація фотополімерного пластику під дією ультрафіолетової лампи – пластик твердне під дією ультрафіолету. Склеювання або спікання порошкоподібного матеріалу – те ж саме що і лазерне спікання, лише порошок склеюється клеєм, що надходить із спеціальної струменевої голівки. Можна відтворити забарвлення деталі, використовуючи сполучні речовини різних кольорів.

Найпопулярніші сфери, де використовують 3D-друк – це освіта, медицина, харчова промисловість, ювелірне мистецтво, архітектура, дизайн, космонавтика. Крім виробничого обладнання, все більше виробників популяризують недорогі домашні 3D-принтери для масового споживача.

По всьому світі наче гриби ростуть компанії, які займаються 3D-друком в будівництві. Так, наприклад, китайська компанія Yingchuang New Materials минулого року спромоглася побудувати 10 повнорозмірних будинків лише за одну добу. А в Дубаї друкують "офіси майбутнього" на 250 квадратних метрів з модульних систем з дуже стильним дизайном. Якщо на початку цього десятиріччя на 3D-принтері друкували лише невеликі дрони та форсунки до авіадвигунів, то зараз все стало набагато серйозніше. Навесні цього року

компанія Boeing анонсувала, що друкуватиме для свого нового 787 Dreamliner титанові елементи фюзеляжу, котрі нестимуть навантаження на корпус під час польоту. Norsk Titanium, яка виступає у ролі підрядника Boeing, розробила власну технологію друку на основі швидкого плазмового осадження (англ. Rapid Plasma Deposition - RPD). Це коли титановий дріт плавиться в хмарі з газу аргону. Завдяки цьому компанія планує здешевити вартість літака на 2-3 мільйони доларів.

Прогрес в області виробництва і електроніки може здаватися абстрактним: три останніх покоління людство живе в епоху технологічних проривів, які стали звичними для сучасного життя. Утім, 3D-друк все одно здатен здивувати, скажімо, в галузі медицини, де активно розвивається біодрук – створення нових органів і тканин для людського організму. Вже сьогодні за допомогою біопринтера можна відтворити для людини біологічні харчові продукти, збагачені необхідними вітамінами, білками, жирами та вуглеводами, сечові міхури для трансплантації, трубок судин, серцевих клапанів, вушних раковин, шкіри й кісткової тканини для подальшої імплантації тощо. 3D-принтер може створити протези, наприклад, для паралізованих людей, які повністю відповідатимуть потребам конкретної людини. На відміну від традиційних варіантів, «надруковані» протези будуть повторювати кожен вигин тіла власника і не сковують рухи. При цьому вони набагато легші за традиційні. Сьогодні технологію 3D-друку вже використовують у створенні пристроїв для підтримки постави при сколіозі, а також при ампутації кінцівок.

Зважаючи на те, що в сфері матеріалів для друку 3D-принтерів постійно ведуться нові розробки, а сам друк стає набагато швидшим і дешевшим, його починають використовувати в найрізноманітніших сферах життя. Тому в найближчому майбутньому нас чекає суттєве переосмислення багатьох процесів виробництва. Очевидно, що речі стануть більш доступними та унікальними. І це може повністю змінити як світову економіку споживання, так і власне наше життя.

### Література

1. Слюсар, В.И. (2003). Фаббер-технологии. Новое средство трехмерного моделирования.. Электроника: наука, технология, бизнес. - 2003. - № 5. с. 54 – 60.
2. Крохмаль А.С., Казакова Н.Ю. Применение 3D-печати в формировании образа современных городских пространств.// Вестник МГХПА “Декоративное искусство и предметно-пространственная среда”. - № 1 - 2, 2020. – с.260 - 267.
3. Noor, Nadav. 3D Printing of Personalized Thick and Perfusible Cardiac Patches and Hearts : [англ.] / Nadav Noor, Assaf Shapira, Reuven Edri ... [et al.]// Advanced Science. — 2019. — 15 April. — doi:10.1002/advs.201900344
4. Слюсар, В.И. Фаббер-технологии: сам себе конструктор и фабрикант.. Конструктор. – 2002. - № 1. С. 5 - 7. (2002).

## ПРОГРАМНА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТРИВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ

**Жуков Б.С.**, аспірант, ЧНУ ім. Богдана Хмельницького

Сьогодні можна сміливо говорити про стрімке старіння традиційних віконних графічних інтерфейсів, керованих клавіатурою і мишкою, початок яким було покладено ще в 80-ті роки минулого століття. Стрімкий розвиток інтерактивних мультимедійних технологій вимагає появи новітніх інтерфейсів людино-машинної взаємодії, які мають елементи тривимірного світу, який звичний для сприйняття користувачем.

Глобалізація віртуальної реальності привела до введення в науковий обіг нового терміну «доповнена реальність». Якщо поточні технології призначених для користувача інтерфейсів сфокусовані в основному на взаємодії людини і комп'ютера, то доповнена реальність за допомогою комп'ютерних технологій пропонує об'єднання інтерфейсів людини і реального навколишнього світу.

Засоби доповненої реальності з'явилися недавно і є багато питань, щодо ідентифікації, надійного та інтерактивного відтворення тривимірних елементів цих засобів. Тому актуальність даного дослідження полягає у тому, щоб дослідити вплив характеристик 3-D елементів доповненої реальності для їх застосування при створенні нових засобів взаємодії людини і комп'ютера, які є для більш зручним для сприйняття віртуального світу користувацьким інструментом.

У вузькому сенсі, тобто в способах прив'язки технології до інтерфейсу взаємодії людини і комп'ютера, доповнену реальність у більшості випадків представляють як процес поєднання об'єктів реального світу і об'єктів, згенерованих комп'ютером. На сьогоднішній день більшість досліджень в області доповненої реальності сконцентровано на використанні живого чи інтерактивного відео, підданого цифровій обробці, «доповненого» комп'ютерною графікою.

Більш серйозні дослідження включають відстеження руху реальних об'єктів, розпізнавання координатних міток за допомогою машинного зору і конструювання керованого оточення.

Зараз доповнена реальність є одним з найактуальніших об'єктів для дослідження. Проте в Україні цій темі не надається належної уваги. Тому доцільно активізувати наукові і практичні дослідження в цій сфері.

У сучасних прикладних додатках, що працюють на мобільних пристроях, таких як смартфони, планшети, «розумні» окуляри, можуть реалізовуватися функції доповненої реальності (англ. augmented reality). Її використання дозволяє [1] показати об'єкт/об'єкти у тривимірному зображенні, доповнити інформацію про вибраний об'єкт текстом, який буде пробігати по екрану на фоні основного зображення. Це сервісні функції. Але є цілий ряд задач, які потребують

використання тривимірних зображень певних цільових елементів для прийняття рішень, які відіграють важливу роль у контролі технологічних процесів, при автоматизованому проектуванні нових пристроїв та розробці нових технологій. В наш час доповнена реальність може бути застосована у багатьох технічних, військових, медико-соціальних, освітніх та мистецьких проектах [2-3].

При реалізації функцій доповненої реальності постає питання, за яких умов можливе їх надійне спрацювання, тобто які обмеження мають містити правила роботи з мобільними пристроями для безперебійної роботи даних функцій. Для відповіді на це питання треба проаналізувати ряд факторів [1], серед яких вид маячка, який ідентифікує об'єкт доповненої реальності; часова затримка для надійного фіксування маячка, кути нахилу відеокамери мобільного пристрою, що дозволяють не тільки відтворити, а й забезпечити надійне безперервне функціонування об'єкту доповненої реальності.

Практичне значення очікуваних наукових результатів полягатиме в можливості застосування створеної інформаційної системи з технологією доповненої реальності для візуалізації тривимірних об'єктів у вигляді програмно-алгоритмічного комплексу. Передбачається досягнення таких наукових результатів:

4. Розроблені методики підвищення реалістичності при візуалізації тривимірних об'єктів засобами доповненої реальності, комбінації статичного і динамічного освітлення з попередньою візуалізацією незалежної текстури затінювання і статичної тіні об'єктів, що падає, що відрізняються використанням;

5. Запропонований підхід до зміни параметрів об'єктів доповненої реальності при візуалізації, що відрізняється введенням блоку узагальненого параметра, що прискорює взаємодію та включає можливість зміни в реальному часі і що забезпечує спрощення інтерфейсу користувача;

6. Розроблена методика підготовки і зберігання тривимірних моделей віртуальних об'єктів для їх реалістичної візуалізації, що відрізняється структурою і форматом зберігання даних;

7. Запропонований авторський механізм і алгоритм маніпуляції віртуальними тривимірними об'єктами в просторі з використанням жестових методів введення, що відрізняються можливістю одночасного переміщення і обертання, а також швидкістю і стабільністю роботи;

### **Література**

1. Доповнена реальність: які пристрої розширюють межі сприйняття. [Електронний документ]. Режим доступу: <http://today.vodafone.ua/posts/dopovnena-realnist-yak-pristroyi-rozshiryuyut-mezhi-spriynnyattya>

2. McEachran R. Augmented reality is driving construction's creative reinvention. Available: <https://www.theguardian.com/media-network/2016/oct/28/augmented-reality-leading-construction-creative-reinvention>

3. Future of augmented reality. Available at: <http://www.vrs.org.uk/augmented-reality/future.html>

## ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ В СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МОСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Квасніков В.П.<sup>1</sup>**, д.т.н., проф..

**Запоточний Р.М.<sup>2</sup>**, к.т.н.

<sup>1</sup>Національний авіаційний університет

e-mail: [kvp@nau.edu.ua](mailto:kvp@nau.edu.ua)

<sup>2</sup>Одеська державна академія технічного регулювання і якості

e-mail: [r.zapotochnyi@gmail.com](mailto:r.zapotochnyi@gmail.com)

Світовий розвиток науки і техніки поводить розроблення і удосконалення, а також автоматизацію вимірювальних приладів і систем.

Зменшення трудоемності на виконання робіт, що пов'язані з контролюючими вимірюваннями на будівельному майданчику сприяє більш якісному здійсненню будівельно-монтажних робіт. А розроблення нових і удосконалення існуючих вимірювальних приладів дозволяють більш ширшому їх використанню в різних галузях, в тому числі і мостобудуванні.

На усіх етапах життєвого циклу мостової конструкції є необхідним виконанням контролюючих вимірювань - для оцінки напружено-деформованого стану, а саме [4]:

- при будівництві конструкції з врахуванням етапності виконання і технології спорудження;
- на етапі утримання конструкції;
- при проведенні ремонтних робіт;
- при проведенні робіт пов'язаних з реконструкцією;
- у виняткових ситуаціях, які виникають внаслідок аварії конструкції.

Для окреслення напружено-деформованого стану мостової конструкції або ж її окремих елементів застосовують оптичні вимірювальні інструменти, які базуються на лінійних і куткових вимірюваннях і характеризуються точністю ряду  $\pm 1$  мм.

У випадку нескладних мостових об'єктів з невеликими величинами погонів, такі вимірювання уможливають отримання загальної інформації про геометрію конструкції і уможливають виконати оцінку її напружено-деформованого стану.

Із розвитком проектування мостових конструкцій, встановлюють все більші вимоги, щодо якісного забезпечення пов'язаних з контролюючими вимірюваннями за допомогою геодезичних інструментів і методів вимірювань.

Застосування сучасних спеціальних рішень геодезичних вимірювальних приладів і їх систем, для отримувати інформації про статичний і динамічний стан конструкції називається геодезичним моніторингом будівельних конструкцій.

Такі системи дозволяють на безперервне отримання інформації, що стосується зміни геометричних параметрів досліджуваної конструкції.

Складовими елементами систем геодезійного моніторингу мостових конструкцій є: локальна система отримання даних для збору інформацію про фізичні величини конструкції; глобальна система пошуку даних геометричних параметрів конструкції, що базується на методах вимірюваннях GPS/GNSS, тахеометрії, нівелювання чи мережі інклінометрів; центральна одиниця, якою є промисловий комп'ютер з установленим спеціальним програмуванням для аналізу отриманих даних; система, що уможливорює передачу даних.

В залежності від особливостей мостової конструкції і поставлених задач, до складу таких систем можуть входити різні вимірювальні інструменти і датчики [1,3].

Найчастіше застосованими геодезійними інструментами для виконання контролюючих вимірювань мостових конструкцій є:

- супутникові приймачі GPS/GNSS;
- точні інклінометри;
- електронні тахеометри;
- цифрові нівеліри.

Прилади ці можуть працювати в спосіб незалежний оди від одного, а також можуть бути інтегрованими в одну вимірювальну систему [4].

Технологія GPS/GNSS успішно використовується для визначення переміщень конструкції або її складових елементів. Точність отриманих даних вимірювань сягає сантиметра, а при застосуванні відповідної фільтрації даних ряду і декількох міліметрів.

Кожна станція GPS/GNSS складається з антени, приймача сигналу з супутника, системи перетворення сигналу, засобів передачі сигналу, засобів електроживлення.

Інтерпретація отриманих даних уможливорює визначення, з високою точністю і вірогідністю, переміщень конструкцію. Двома базовими функціями такої системи є виконання контролюючих вимірювань для забезпечення якісних будівельно-монтажних робіт підчас будівництва мостової конструкції, а також уможливлюють виконувати оцінку її технічного стану під час її експлуатації.

Точні інклінометри уможливлюють виконання безперервних вимірювань величин похилень і їх напрямку. За допомогою системи точних інклінометрів уможливлюється виконувати оцінку технічного стану конструкції мосту.

Застосування електронних тахеометрів уможливорює виконання моніторингу за переміщеннями контролюючих точок конструкції. Електронні тахеометри, що використовують в системах моніторингу роботи конструкції мосту, розміщені в околицях об'єкту вимірювання.

Їх розміщують, переважно в заклятих і кліматично контролюючих контейнерах, зі сталим джерелом електроживлення.

Це уможливорює стаке і справне функціонування приладу, за дії змін метеорологічних умов, можливість виникнення корозії складових деталей і забезпечує від вандалізму.

Перевагами геодезійного моніторингу для виконання контролюючих вимірювань за роботою мостових конструкцій є:

- безобслугова робота приладу (системи) за різних атмосферних умовах;
- можливість отримання результатів вимірювань з точністю до кількох міліметрів, при відповідній фільтрації даних;
- позиційовання вимірювальних точок відбувається з частотою принаймні 20 Hz;
- нескладність в обслуговуванні;
- низький рівень енергозатрат;
- можливість у співпраці з іншими системами (побудова зінтегрованої системи).

### **Висновки**

- Застосування сталого геодезичного моніторингу на усіх етапах життєвого циклу мостової споруди уможливорює у проведенні контролюючих вимірювань для оцінки її технічного стану.

- В залежності від особливостей проектного рішення мостових споруд, актуальним є розробка максимально універсальних недорогих вимірювальних систем для масового впровадження, особливо на будівельних об'єктах, які перебувають у перед аварійному стані.

### **Література**

1. Квасніков В.П. Моніторинг роботи мостових конструкцій експериментального будівництва / В.П. Квасніков, Р.М. Запоточний // Вісник інженерної академії України. – 2018. – № 1. – С. 206–208.
2. Zapotochnyi R.M. Computerized systems of continuous monitoring of the technical condition of bridge constructions / Zapotochnyi R.M. Kvasnikov V.P. // AVIATION IN THE XXI-st CENTURY: Safety in Aviation And Space Technologies. – Kyiv, – P. 2–43.
3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-169-175](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-169-175).
4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://leica-geosystems.com/>.

## ІНТЕГРОВАНА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА РОБОТОТЕХНІКА

Коваленко Ю., студент, НАУ

Історична перспектива. Перші піонери артистичної розвідки передбачали використання комп'ютерів як інструментів для інкапсуляції пізнання всередині машин. Хоча вони чітко не формулювали необхідність робототехнічного втілення форми людського інтелекту, ця мета як засіб вивчення пізнання була перш за все їх розумом.

З іншого боку, механічний інструмент був задуманий на початку історії людства як спосіб допомогти людям підкорити природу та допомогти виконувати “роботу”.

Механічні автомати з Китаю та Японії були розроблені швидше як артефакти людської цікавості, ніж фактичні практичні пристрої для економії праці. З появою сучасного комп'ютера перехід таких пристроїв від механічного до електронного управління призвів у свою чергу до народження мобільних автоматів.

Сам термін «робот», придуманий драматургам і популяризований як політ наукового письменника, показує широкий інтерес до того, що ми зараз вважаємо вбудованим автоматизованим пізнанням. Раннє використання було автоматичним вирішенням проблем. Якщо можна формалізувати як проблему, так і її рішення на відповідній символічній мові, це було аргументовано, то маніпулювання символами на основі комп'ютера може бути використане для переходу від першої до другої.

Вважалося, що головне завдання полягає у встановленні алгоритмів, які реалізують цю трансформацію. Як тільки вони будуть доступні, було б достатньо автоматично генерувати формулювання проблеми із сприйняття та автоматично вводити рішення шляхом приведення в дію програмного агента, що вирішує проблеми у фізичному світі.

Бачення автоматизованого вирішення проблем у фізичному світі було першим конкретно реалізований в проекті Shakey, імовірно, перший робот, який використовував методи. У нього був успіх, оскільки він демонстрував значні можливості міркування, включаючи здатність планувати свої дії та реагувати на несподівані події під час виконання. Однак, будучи вбудованим у фізичний світ, його оточення було цілком мистецьким, виготовлене з простих геометричних фігур у добре освітленій лабораторії.

При переході до більш природного оточення проблеми переходу від ненадійних даних сенсорів до формального, символічного опису проблеми виявилися набагато більш істотними, ніж очікувалося. Це було справедливо і для переходу від формального, символічного опису рішення до фізичного приведення в дію. Вони були головною рушійною силою, щоб розбити проблему на підпроблеми, щоб вирішити їх окремо.

Отже, розум, сприйняття та фізичні дії були вирізані.

Отже, більшість дослідників рухалися міркуваннями зверху вниз, рідко пов'язаними з фізичним світом. Rea-soning ігнорував фізичність та втілення в автоматизації, припускаючи, що дається символічний опис проблеми і що символічний опис рішення може діяти у фізичному світі, що веде до десятиліть «знесиленого».

І, навпаки, дослідники сфери робототехніки застосовували більш підхід "знизу вгору", переважно ігноруючи аспекти міркування та зосереджуючись замість цього на втіленні. Кожна громада зосередилась на власних проблемах та методах. Однак часто перекриття між ними ставали очевидними; наочний приклад - "алгоритми планування", які, хоча вони звучали відповідно з обох кінців, були джерелом плутанини з іншого.

У той же час спільнота і сприйняла практичність вирішення проблем у реальному світі як важку, складну чи контрпродуктивну з точки зору алгоритмічного розвитку.

Відключення від вирішення проблем у реальному світі, в свою чергу, призвело до того, що громада пройшла через різні шляхи, які мали незначний довгостроковий вплив; справа в змаганнях з планування, де є суттєвий алгоритмічний контроль над правилами змагань, хоча ще багато чого хочеться зробити в плані підключення до вирішення проблем у реальному світі.

Подібні питання зачіпають інші підгрупи. З'єднання двох полів було, звичайно, дуже ефективним. Злиття датчиків, SLAM, машинне навчання, а також певною мірою автоматизоване планування, наприклад, зараз вважаються зрілими підгрупами двох спільнот із значними робочими органами та широкою придатністю.

Саме в цьому контексті в кінці 90-х цілий ряд заходів було підштовхнуто до возз'єднання. Об'єднання дослідників з Європи та США, щоб ініціювати спільну діяльність з метою спрямування довготривалих зусиль у об'єднанні цих двох дисциплін.

Не тільки ця зустріч призвела до планування цього Спеціального випуску, але вона також регулярно збирала студентів та науковців у всьому світі на серію Зимових шкіл, для вивчення стану мистецтва та практики інтегрованого та робототехніки.

З цими подіями та цим Спеціальним випуском, ми сподіваємось, що живуча спільнота дослідників візьме на себе завдання тягнути різноманітні нитки в цих дисциплінах та протистояти новим викликам.

**МУЛЬТИРОТОРНИЙ (24-РОТОРНИЙ) КОНВЕРТОПЛАН  
ДИСКОЛЬОТНОЇ ФОРМИ (БАГАТОДВИГУНЕВИЙ  
МУЛЬТИРОТОРНИЙ КОНВЕРТОПЛАНОВИЙ ДИСКОЛІТ) З  
ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЮ СИСТЕМОЮ РОЗДІЛЬНОГО  
ПАРАЛЕЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЙОГО ДВИГУНАМИ**

**Нахаба О.О.**, наук.співр, НАУ, [nakhaba91@ukr.net](mailto:nakhaba91@ukr.net)

**Вступ.** Проблема розробки та будування нових мультироторних безпілотних літальних апаратів із можливістю ідеально плавного вертикального зльоту та посадки, із можливістю ювелірно точного маневрування, із можливістю нерухомого зависання, із можливістю горизонтального переміщення на високих швидкостях, із високим рівнем безпеки польоту, живучості та отказостійкості, багатократного резервування функціональних елементів літального апарату є досить актуальним.

**Матеріали і методи.** У ході виконання дисертаційної роботи «Структурно-параметричний синтез для оптимізації мультироторної безпілотної авіаційної системи» та у рамках виконання пошукової НДР «Розробка нових видів мультироторних літальних апаратів вертикального зльоту-посадки та високоточного маневрування із незалежними вертикальною та горизонтальною складовими польоту (дискольтів суто полікоптерної схеми із перпендикулярним розташуванням двигунів вертикального зльоту, мультироторних конвертопланів літакового типу із полікоптерним алгоритмом керування польотом, мультироторних стелс-конвертопланів літакового типу із полікоптерним алгоритмом керування польотом, та мультироторних конвертопланів дискольтного типу із полікоптерним алгоритмом керування польотом) для пересування у щільних шарах планетарної атмосфери (у повітряному просторі), у розріджених шарах планетарної атмосфери (у стратосфері) та у комічному просторі, у тому числі із використанням нових інерційних (гравітаційних) двигунів.», Нахабою О.О. розроблено мультироторний (24-роторний) конвертоплан дискольтної форми (багатодвигуневий мультироторний конвертоплановий дисколіт) з децентралізованою системою роздільного паралельного керування його двигунами, котрий успішно запатентований в Україні.

На Рис.1 показано 24-роторний дисколіт (вид зверху), де:

- 1 – напівсферичне (параболічне, куполоподібне) крило дискольту;
- 2 – двигуни вертикального зльоту (вертикальної тяги);
- 3 – кабіна дискольту.

На Рис.2 показано 16-роторна модифікація 24-роторного дискольту (вид зверху), у котрій збільшено обсяг кабіни (3) за рахунок 8 центральних двигунів вертикального зльоту (вертикальної тяги).

На Рис.3 показано схему децентралізованої системи роздільного паралельного керування його двигунами 24-роторного дискольту трьома автопілотами.

На Рис.4 показано схему централізованої системи роздільного паралельного керування його двигунами 24-роторного дискольоту одним автопілотом.

**Результати та їх обговорення.** Після зборки та необхідних налаштувань, проведено серію стендових та льотних випробовувань даного мультироторного (24-роторного) дискольоту на різних висотах при вертикальному та горизонтальному польоті із вимірюванням часу польоту на одній силовій акумуляторній батареї і порівняння цих результатів із попередніми результатами польоту на подібних за масою мультироторних безпілотних літальних апаратів, але без куполоподібного крила. Отримані результати свідчать про збільшення часу польоту з 40 до 60 хвилин.

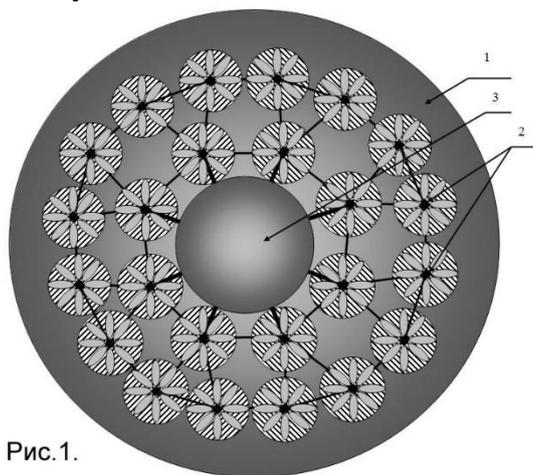


Рис.1.

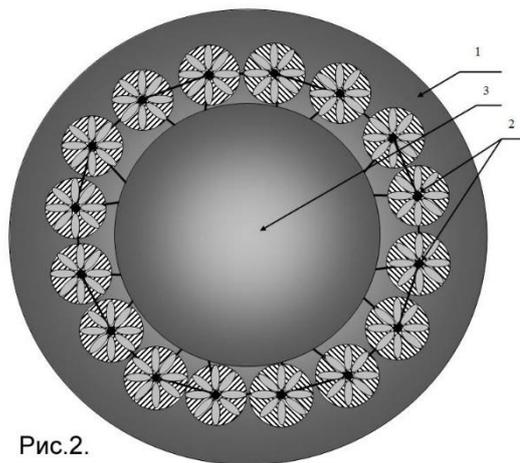


Рис.2.

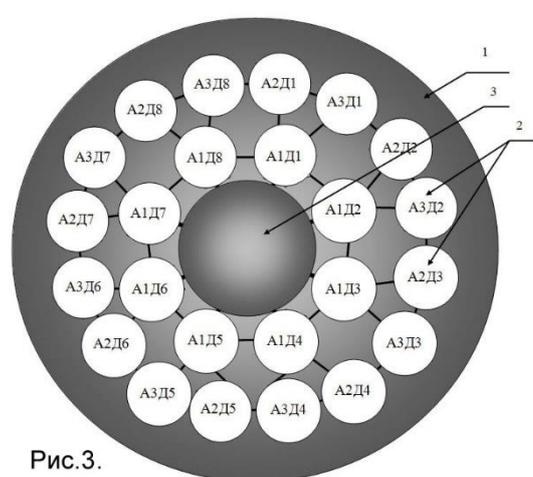


Рис.3.

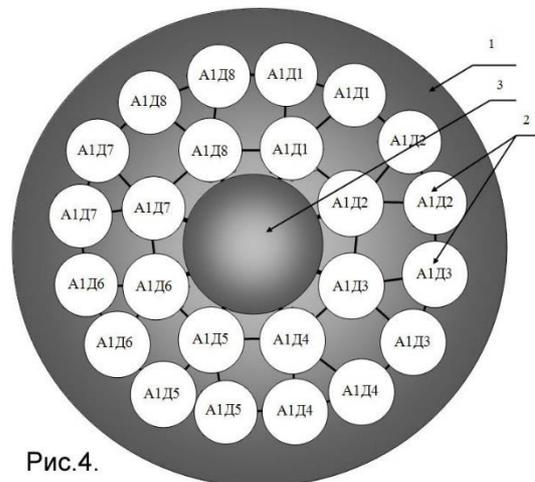


Рис.4.

**Висновки.** Отримані нові експериментальні дані льотних випробовувань мультироторної безпілотної авіаційної системи із куполоподібним крилом свідчать про можливість економії від 15 до 35% енергії (електроенергії) за рахунок використання додаткової підйомної сили куполоподібного крила (при горизонтальному польоті) та за рахунок ефекту Коанди (при зависанні дискольоту). Збільшення кількості роторів до 24 та збільшення кількості керуючих автопілотів до 3 значно збільшує живучість та відмовостійкість літального апарату, значно збільшує безпеку польоту та робить його використання цілком безпечним навіть в умовах густонаселених кварталів сучасного мегалополіса. Даний мультироторний (24-роторний) дисколіт є прозорим і малопомітним для сучасних радіолокаційних засобів.

## **СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО ПЕРСОНАЛУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ**

**Руденко В.Г.**, студент, НАУ

Системи підтримки прийняття рішень (СППР) – один із напрямів штучного інтелекту – знаходять все більше застосування в різних сферах діяльності людини, де виникають задачі вибору альтернатив та пошуку ефективних рішень.

СППР зазнають все більших змін у напрямі розширення своїх функцій шляхом інтеграції різнорідних формалізмів та засобів, тому використовують різні підходи до побудови СППР. Використання СППР для розв'язання задач і підтримки прийняття рішень може відбуватися як у режимі off-line, так і в режимі реального часу.

Якщо СППР використовують у режимі off-line, то вони поєднують переважно експертні системи та засоби математичного моделювання. Однак СППР, які орієнтовано на використання в системі ДК (ОЕС, ЕЕС, ЕМ, ЕЕО), повинні надавати оперативно-диспетчерському персоналу результати своєї «діяльності» в реальному часі оперативного керування.

Прийняття рішень – обов'язкова інтелектуальна складова процесу ДК, що базується на результатах оцінювання поточного стану (ЕЕС, ЕМ, ЕЕО) та результатах, наданих СППР. Тому СППР в електроенергетиці – це системи підтримки оперативно-диспетчерського персоналу у прийнятті рішень (СПДПР) і не мають жорстких алгоритмів.

Під час створення СПДПР для розв'язання комплексних задач ДК ЕЕО та ЕМ з'являється потреба використання різнорідних формалізмів. Створення гібридних СПДПР відбувається шляхом агрегації в одній системі різнорідних засобів, які забезпечують розв'язання задач ДК ЕЕО та ЕМ. У сучасних системах створюється інформаційно-програмне середовище розв'язання задач, синтез та взаємодія компонентів якого визначаються можливістю декомпозиції процесу розв'язання складних задач на простіші підзадачі, які, у свою чергу, зводяться аж до рівня елементарних.

Такий спосіб розв'язання задач відомий під назвою зведення задач до підзадач або методу частинних цілей. Важлива роль відводиться структуруванню та формалізації знань предметної області ДК як по відношенню до об'єктів, так і по відношенню до процесів. В останньому випадку структурування виконується аж до атомарних структур – елементарних функцій, з яких шляхом синтезу утворюються відповідні обчислювальні послідовності.

### **Організаційна структура СПДПР.**

Організаційно (за рівнями оброблення інформації) при створенні СПДПР для ДК ЕМ можуть використовуватися підходи, аналогічні тим, що застосовуються в комп'ютерних інформаційних системах оперативного керування

На рівні доступу до даних реалізують та використовують необхідні механізми для одержання інформації з рівня даних. Крім того, на цьому рівні формується середовище для даних та знань у вигляді відповідних структур, які використовують різні додатки, що знаходяться на рівнях додатків та рішень. У процедурному аспекті структури даних під час розроблення СПДПР ЕМ інтерпретуються, насамперед, як форми подання даних, які розрізняються на рівні процедур маніпулювання ними: одна й та сама множина даних може інтерпретуватися різними процедурами по-різному.

Ефективність реалізації такого відображення великою мірою залежить від вибору початкових структур даних. Поряд із структурами даних, які широко використовують і вибір яких визначається топологічними або функціональними особливостями об'єкта, що впливають і на оброблення інформації, формування структур даних у процедурному аспекті залежить, як уже зазначалося, також від часових обмежень, які стосуються розв'язання задач ДК ЕЕО та ЕМ. Тому від вибору інформаційних структур значною мірою залежить ефективність розв'язання задач ДК в електроенергетиці.

### **Організація взаємодії програмних компонентів СПДПР.**

Досвід розроблення та використання інтегрованої СПДПР ЕМ засвідчив, що для забезпечення можливості спільної роботи її різних програмних компонентів цілком успішно можна використовувати OLE-технологію, призначену для організації взаємозв'язку різних програм. Завдяки такому використанню забезпечується взаємодія програмних компонентів СПДПР ЕМ при збереженні контролю над цілісністю і несуперечливістю інформації, що міститься в структурованій БД.

Сама СПДПР включає набір динамічних серверів, кожний з яких забезпечує розв'язання окремої задачі чи класу задач і обслуговує локальну БД, що містить інформацію, призначену для розв'язання цієї задачі. Динамічний сервер має інтерфейсну та функціональну частини і за допомогою сервера БД «обслуговує» відповідну локальну БД.

Інтерфейсна частина поділяється на візуальний (віконний) та функціональний інтерфейси. З метою уніфікації реєстр серверів виділяється в окрему БД, спільну для задач, що розв'язуються СПДПР ЕМ.

Досвід розробок свідчить, що як таку БД доцільно використовувати системний реєстр операційної системи. Під час інсталяції СПДПР ЕМ в

комп'ютерній мережі зв'язок між серверами легко встановлюється за рахунок імпорту системних реєстрів у комп'ютер.

Зв'язок об'єктів конкретної локальної БД з об'єктами інших БД реалізується у вигляді відношень за ключовими індексами. Функціональна частина є ядром динамічного сервера, тут відбуваються обслуговування на логічному рівні відповідної локальної БД, виконання інформаційно-пошукових та інших процедур. З метою збереження контролю над цілісністю інформації вводиться система розмежованого доступу до даних.

Динамічний обмін інформацією між програмою-сервером і програмою-клієнтом здійснюється за допомогою динамічних потоків даних, що автоматично генеруються і обробляються інтерфейсними об'єктами.

Враховуючи особливу роль в ДК «зорового» каналу сприймання інформації і людино-машинного інтерфейсу в адаптації моделей та «спілкуванні» диспетчера з СПДПР ЕМ, розроблено інтерфейсну графічну оболонку, яка реалізує функції формування зазначеного каналу інформації та забезпечує комфортність «спілкування» користувача з СПДПР ЕМ в усіх режимах її роботи.

Залежно від задачі ДК, яку розв'язує СПДПР використовуються різні об'єктно-ситуативні «шари» інформації.

Сучасні інтегровані СПДПР ЕЕО та ЕМ є фактично складовими автоматизованих систем оперативно-диспетчерського керування, здатних розв'язувати складні комплексні задачі ДК.

Засоби зовнішнього інтерфейсу забезпечують надходження оперативної інформації як від засобів моніторингу, так і від засобів діагностування обладнання. Завдяки цьому зменшується неповнота інформації, сприяючи якіснішому оцінюванню стану об'єкта керування та розв'язуванню задач.

## Література

1. Охріменко В. М. Конспект лекцій з дисципліни «Автоматизовані системи диспетчерського управління» (для студентів спеціальностей 7.05070103, 8.05070103 – Електротехнічні системи електроспоживання (за видами) і слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.05070103 – Електротехнічні системи електроспоживання) / В. М. Охріменко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015.

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАЧІ ОБХОДУ ПЕРЕШКОД ДЛЯ КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

Трофименко М.С., магістр, НАУ, [mitrofimow833@gmail.com](mailto:mitrofimow833@gmail.com)

Автоматизація і використання роботів надійно зайняли нішу у виробництві, проте в даний час йде процес перенесення центру наукових досліджень впровадження промислових роботів з автоматизованого виробництва різної продукції в область створення роботів спеціального призначення.. Тут потрібно відзначити космічних роботів для вивчення поверхні небесних тіл і Сонячної системи, роботів для підводних досліджень. В ході боротьби з тероризмом виникла гостра необхідність в роботах, призначених для розмінування підозрілих предметів в місцях скупчення людей (наприклад, в аеропортах або громадському транспорті). Потрібні роботи, які можуть без допомоги оператора гасити пожежі, самостійно пересуватися по задалегідь невідомій місцевості, виконувати рятувальні операції під час стихійних лих, аварій атомних електростанцій тощо.

В роботі в якості об'єкта дослідження розглядається мобільний робот на платформі Arduino UNO, а предметом розробки є програмне забезпечення аналізу відеоданих з камери робота.

Для розв'язання задачі обходу перешкод необхідно перш за все визначити наявність об'єкту на кадри на основі відеоданих. Об'єкти, які знаходяться ближче, змінюються на зображеннях швидше, ніж фон та віддалені об'єкти. Для того, щоб визначити, чи є перешкода перед роботом, достатньо знати, наскільки відрізняються два сусідні кадри. Але більш детальну інформацію дозволяє отримати оптичний потік. Як відомо оптичний потік – це зображення видимого руху об'єктів, поверхонь або країв сцени, що отримується в результаті переміщення спостерігача щодо сцени. Для розрахунку оптичного потоку зробимо два припущення: а) переміщення пікселя є нескінченно малим; б) інтенсивність освітлення пікселя на сусідніх кадрах є незмінною. В роботі використовується алгоритм Лукаса-Канаде, який реалізовано у бібліотеці OpenCV. Згідно цього алгоритму :

- 1) кадр з камери розділяють вздовж на дві рівні половини;
- 2) розраховують для ключових точок зображення кожної половини вектори оптичного потоку;
- 3) розраховується сумарний вектор кожної половини;
- 4) якщо напрямки векторів вздовж осі абсцис співпадають, то однозначно необхідно рухатися в протилежному напрямі;
- 5) якщо ж напрямки протилежні, то необхідно рухатися в бік найменшого вектора до моменту, поки вектори не стануть однаковими.

Суттєвим недоліком запропонованого підходу є невизначена реакція на те, що система не передбачає реалізацію поведінки робота при втраті зв'язку з оператором. На рисунку 1 наведено розроблений програмний код керування для повернення робота у зону сигналу:

```

void loop() {
// Якщо немає сигналу
if (!BTSerial.available()){
while(Angle != 180°)
{
//рухаємось вправо
Go_right();
//рухаємось назад
Go_backward();
// Процедура руху вправо
void Go_right() {Current_speed(255,255);
motor1.run(FORWARD);
motor2.run(BACKWARD);
motor3.run(FORWARD);
motor4.run(BACKWARD);}
// процедура руху назад
void Go_backward();
{Current_speed(255,255);
GO_backwardRL();}
// Назад для RL
void GO_backwardRL
{motor1.run(BACKWARD);
motor2.run(BACKWARD);
motor3.run(BACKWARD);
motor4.run(BACKWARD); }
}
}

```

Рисунок – 1. Програмний код керування для повернення роботу у зону сигналу.

Таким чином, під час проектування мобільного робота на базі обчислювальної платформи Arduino UNO одним з основних питань є розробка алгоритму обходу перешкод на основі відеоданих. Перевагами є застосування для реалізації робота сучасних апаратних засобів, які знаходяться у широкому доступі. Запропоновано програмний код керування для усунення суттєвого недоліку запропонованого підходу.

### Література

1. С.С. Бехемір, Дж. . Баррон. The computation of optical flow / – Журнал ACM Computing Surveys (CSUR) – ч. 27 вер. 1995 – с. 433-466.
2. Українська Асоціація Користувачів та Розробників Вільного та Відкритого Програмного Забезпечення. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uafoos.org/ua/about/what-is/>.
3. Optical Flow — OpenCV 3.0.0-dev documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://docs.opencv.org/trunk/doc/py/tutorials/py/video/py/lucas/kanade.html>
4. Д. Лентин. Изучение робототехники с использованием Python / – АМК, 2019.- 250 с.
5. Ch. Davis. Electromechanical Systems / – Independently published, 2018 – 136 с.

## РОЗУМНИЙ БУДИНОК: ОБМІН ІНФОРМАЦІЄЮ БЕЗДРОТОВИМИ КАНАЛАМИ ЗВ'ЯЗКУ

Чубай Н.М., студент, НУВГП, [chubai\\_ak19@nuwm.edu.ua](mailto:chubai_ak19@nuwm.edu.ua)

Аврука І.С., ст.викл., НУВГП, [a.s.avruka@nuwm.edu.ua](mailto:a.s.avruka@nuwm.edu.ua)

На сьогодні системи «Розумний будинок» широко розповсюджені і популярні на ринку побутової електроніки по всьому світі. А також вони застосовуються для автоматизації побутових процесів в помешканні сучасної людини. Об'єднуючи побутові електроприлади та системи освітлення в єдину домашню мережу, система робить будинок комфортним, безпечним, економічним і зручним. «Розумний будинок» здатний керувати обладнанням систем опалення, вентиляції та кондиціювання, шторами, жалюзі та автоматичними воротами, системами, що забезпечують безпеку, різними побутовими приладами, аудіо-та відеотехнікою.

З кожним роком кількість таких пристроїв постійно буде зростати, що в свою чергу призведе до зайвого нагромадження в ефірі пакетів даних, спричиненого використанням одного і того ж діапазону частот. Одним із головних завдань є забезпечення якісного та безпечного обміну інформацією бездротовими каналами зв'язку в них. За допомогою протоколів зв'язку окремі пристрої автоматики «Розумного будинку» будуть зв'язуватися один з одним і передавати інформацію. Сьогодні існує безліч якісних протоколів зв'язку.

Бездротові протоколи зв'язку. Найпопулярніший вид протоколів в основному через більш простий метод установки устаткування. Серед бездротових алгоритмів передачі даних виділимо чотири найбільш відомі:

1) **ZigBee.** Один з найпопулярніших протоколів ZigBee. Використовується повсюдно через свою низьку ціну на модулі і високого енергозбереження. Стандарт підтримує Mesh мережі, шифрування та інші. Був створений як заміна протоколів Bluetooth і Wi-Fi.

2) **Z-wave.** Так само, як і попередній, працює по радіочастотах і так само вміє будувати Mesh-мережі. Пристрої з цим протоколом виходять дорожчі, ніж ZigBee, через високу вартість ліцензування мікросхем зв'язку.

3) **Bluetooth.** Це, мабуть, найбільш невдалий протокол для пристроїв середовища «Розумного будинку». По-перше, в більшості випадків можна отримати доступ до своїх пристроїв, перебуваючи поруч з ними. По-друге, навіть перебуваючи вдома, радіус дії дуже малий.

4) **Протокол Wi-Fi.** Даний протокол використовується практично в кожному «Розумному будинку». Дуже популярне рішення для пристроїв, постійно підключених до електроживлення.

В таблиці 1 «Протоколи» наведено порівняльну характеристику основних технологічних параметрів протоколів.

## Протоколи

Технічні характеристики	Wi-Fi	Bluetooth	ZigBee	Z-Wave
Дальність	До 100 м	80 м	100 м/Mesh	30 м/Mesh
Частота	2.4 ГГц, 5 ГГц	2.4 ГГц	915 МГц, 2.4 ГГц	900 МГц
Швидкість передачі	Макс. 7 Гбіт/с	< 1 мбіт/с	250 кбіт/с	10-100 кбіт/с
Споживання енергії	Високе	Понижене	Низьке	Низьке
Аутентифікація	Так	Проблематично	Так	Так
Шифрування	Так	Так	Так	Так
Двонаправленість	Так	Так	Так	Так
Стандарт	IEEE 802.11	Bluetooth 4.0	ZigBee	Z-Wave
Маштабованість	Так	Так	Так	Обмежено

ZigBee погано справляється з ситуаціями, коли в зоні дії мережі існують сильні перешкоди, які створюються іншими пристроями. Будучи одноканальним, ZigBee далеко не завжди може ефективно боротися з перешкодами, які часто зустрічаються в перевантаженій смузі 2,4ГГц, яка спільно використовується протоколом з такими технологіями, як Wi-Fi або Bluetooth. І в найближчому майбутньому ситуація стане ще гірше, так як завантаженість смуги 2,4 ГГц з кожним роком буде зростати. Проблеми для ZigBee посилює ще той факт, що стандарт IEEE 802.15.4, знаходиться під контролем IEEE що обмежує, в тому числі швидкість передавання даних до 250Кбіт/с. Що стосується безпеки, то ZigBee пропонує широкий сектор розширених заходів для забезпечення достатнього захисту даних, якими обмінюються розумні пристрої. З 128-бітовим алгоритмом AES, використовуваним для шифрування даних та аутентифікації, і трьома типами ключів, використовуваних для управління безпекою, кінцевим користувачам на перший погляд не варто турбуватися. Однак, час від часу виникають проблеми із безпекою в пристроях з підтримкою ZigBee. Вони, в основному стосувалися незахищеного формування парних ключів при підключенні нового пристрою до мережі. Вибір низькочастотного, стабільного і найбільш вільного діапазону для пристроїв дії, а не більше популярного і завантаженого (2,4 ГГц) виявився далекоглядним і правильним рішенням, позбавивши користувачів «Розумного будинку» Z-Wave від серйозних проблем з завадами в сильно завантажених частотах Wi-Fi Bluetooth використовує той же діапазон 2,4ГГц, що і багато інших радіотехнологій. Незважаючи на те, що Bluetooth забезпечений певним інструментарієм для протидії перешкод, використання смуги частот 2,4 ГГц – це безсумнівний недолік. Адже, крім наявності постійних завад, у діапазону 2,4 ГГц є ще один великий недолік - сигнал на цій частоті згасає набагато швидше, ніж на частотах менше 1 ГГц, коли радіохвилі проникають крізь стіни та інші перешкоди. З цієї ж причини радіус дії

технології Bluetooth Low Energy не є її сильною стороною. Незважаючи на теоретично досяжні «до 100 метрів в зоні прямої видимості», для Bluetooth четвертої версії при роботі двох пристроїв в приміщенні можна розраховувати на відстань до 10 метрів. Bluetooth, Wi-Fi і ZigBee мають маленький радіус зв'язку, а мобільний зв'язок і Wi-Fi споживають занадто багато енергії. Комунікація через ZigBee і LoRa дуже енергоефективна. Обидві технології використовуються для передавання невеликої кількості даних. ZigBee відмінно показує себе на невеликих відстанях, LoRa ж створена для комунікації на великі відстані. Також вони мають різну топологію мережі.

Сьогодні безумовний лідер по взаємодії між різними пристроями різних виробників в рамках одного протоколу - технологія Z-Wave. Z-Wave охоплює всі рівні моделі OSI. Крім того, Z-Wave – єдина з популярних технологій, яка не використовує перевантажений до межі частотний діапазон 2,4 ГГц. Всі ці переваги дозволили Z-Wave Alliance створити, без перебільшення, найрозвиненішу в світі систему пристроїв із більше ніж 100 млн впроваджених системи. У Zigbee і Bluetooth Smart теж є шанси на розвиток. Ринок бездротових технологій «Розумного будинку» швидко змінюється. Незмінними залишаються тільки вимоги до енергоспоживання пристроїв, безпеки, відмовостійкості мережі, здатності пристроїв протистояти радіоперешкодам, простоті підключення, а також взаємної сумісності продуктів одного і того ж стандарту зв'язку.

Аналізуючи, встановлено, що з кожним роком кількість розумних пристроїв постійно буде зростати, що в свою чергу призведе до зайвого нагромадження в ефірі пакетів даних, спричиненого використанням одного і того ж діапазону частот. В результаті аналізу встановлено, що для обміну даними в таких системах у всьому світі надаються неліцензовані радіочастотні діапазони, які можуть використовуватися без оформлення спеціального дозволу і абсолютно безкоштовно за умови дотримання вимог щодо ширини смуги, випромінюваної потужності. Обґрунтовано важливість вибору частоти передавання даних при проектуванні системи «Розумний будинок».

### Література

1. Z-Wave Київ - технологія Умный дом. URL: <https://zwave-kyiv.com.ua/home.html> (дата звернення: 21.04.2020).
2. Канали ZigBee та Wi-Fi. Співіснування ZigBee та WiFi Networks. URL: <https://support.metageek.com/hc/en-us/articles/203845040-ZigBee-and-WiFi-Coexistence> (дата звернення: 21.04.2020).
3. Горбенко І. Д., Замула О. А. Інформаційні технологій. Оцінка показників захищеності сучасних бездротових систем зв'язку широкосмугового доступу на основі врахування особливостей технологій OFDM. ХНУ. 2012. 67-75 с.

## СИСТЕМА ТРАЕКТОРНОГО СТЕЖЕННЯ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

Шелуха О.О., Національний авіаційний університет  
[alexztshell@gmail.com](mailto:alexztshell@gmail.com)

Для управління мобільним комплексом було розроблено підсистему траекторного стеження відображену на рис. 1.

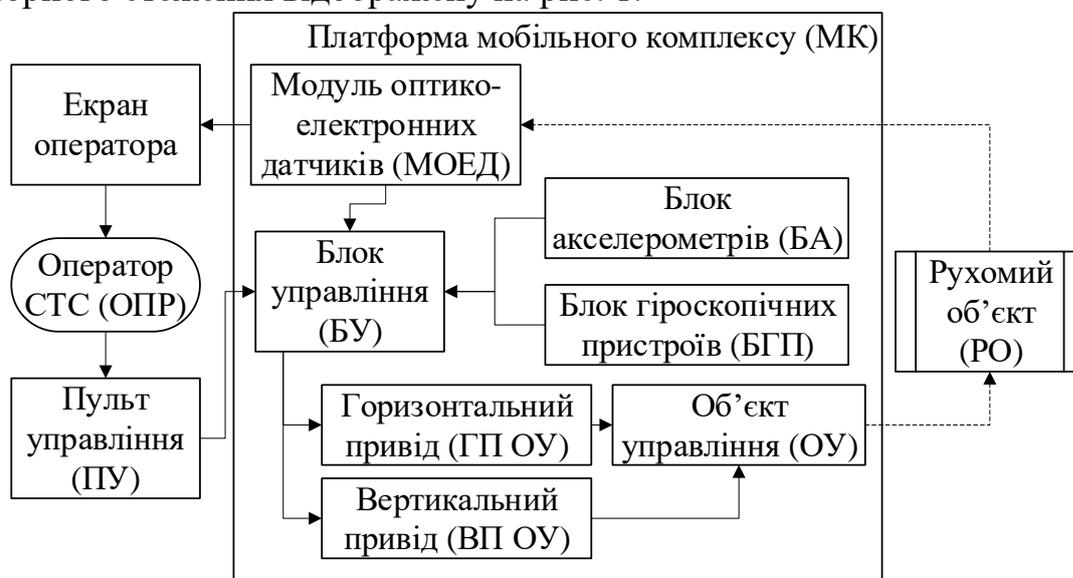


Рисунок 1 – Функціональна схема системи траекторного стеження

Принцип роботи такої підсистеми полягає в наступному. З модуля оптико-електронних датчиків на екрани оператора надходить зображення спостережуваного об'єкта. Оператор приймає рішення щодо спостереження та супроводу цілі, виконує попереднє (грубе) наведення на ціль за допомогою пульта управління, та активує один з режимів: напівавтоматичний або автоматизований.

При напівавтоматичному режимі виконується стабілізація і утримання лінії візування зафіксованої оператором за допомогою показників гіроскопічних приладів, а наведення виконується оператором вручну.

При активації одного з автоматизованих режимів використовується запропонована комп'ютеризована система, а саме виконується розрахунок параметрів руху спостережуваного РО (створюється математична модель).

В системі застосовуються дані з блоку гіроскопічних пристроїв надходять значення впливу зовнішніх збурень, що використовуються для кореляції координат об'єкта. Після проведення порівняння отриманих даних про об'єкт з математичною моделлю, виконується розрахунок сигналів зміщення ОУ для супроводу РО. Далі проводиться розрахунок наступних координат об'єкта спостереження, дані записуються у математичну модель, а дані про зміщення та прогнозоване зміщення передаються до блоку управління, що, в свою чергу, формує управляючі сигнали, та забезпечує не лише стабілізацію, як у

напівавтоматичному режимі, а й вирівнювання вісі візування ОУ з врахуванням переміщень спостережуваного РО.

При використанні режиму без застосування гіродатчиків слід застосовувати більш чутливі ПЗЗ- або КМОН-матриці та швидкодійні процесори обробки відеоданих. Подальша послідовність кроків роботи комп'ютеризованої системи схожа на попередню та полягає в наступному:

1) Фіксація оператором об'єкту спостереження, передача на опрацювання до підсистеми TrC;

2) Вибір кадру у отриманому з оптико-електронного модулю (камери) відеозображення;

3) Якщо це перша ітерація – виконується передача до кроку 4, інакше до кроку 5;

4) Виконується початкова ідентифікація параметрів (положення відносно вимірюючого пристрою, наближені геометричні параметри об'єкта спостереження) та перехід до наступної ітерації (крок 12);

5) Наближене порівняння параметрів об'єкта з еталонним, при відповідності – перехід до обробки зображення (крок 6), інакше – до екстраполяції даних руху спостережуваного об'єкта (крок 9);

6) На цьому етапі виконується обробка зображення, а саме: визначення координат об'єкта спостереження та обрахування його зміщення відносно еталонного (нульових координат);

7) З отриманих у кроці 6 даних формуються керуючі сигнали для приводів горизонтального та вертикального наведення вимірюючого пристрою з метою центрування лінії візування об'єкту управління;

8) За отриманими даними оновлюється еталон об'єкту спостереження та виконується перехід до наступної ітерації (крок 12);

9) При не відповідності (відсутності в кадрі) об'єкта спостереження виконується збільшення лічильника втрати об'єкта спостереження;

10) Виконується перевірка досягнення лічильника втрати об'єкта ліміту ітерацій з втратою об'єкта. При малому числі – перехід до екстраполяції даних (крок 11), при перевищенні ліміту – до процесу зриву супроводу (крок 13);

11) Виконується розрахунок можливого положення об'єкту спостереження відповідно до еталонних даних про об'єкт;

12) Формування наступної ітерації отримання зображення з оптико-електронного модулю. Перехід до кроку 2;

13) Формування запису про втрату об'єкту спостереження;

14) Передача керування до ручного управління оператором.

Різниця між двома запропонованими методиками роботи розробленої системи полягає в застосуванні або більш простих технологічних рішень, що вимагатимуть додаткової синхронізації та матимуть меншу точність, або складніших технологій, що дозволятимуть як отримувати більш чітке зображення, так і виконувати певні прецизійні вимірювання

## ПІДХІД ДО РОБОТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ БУДИНОК» НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

**Шостак І.В.**, д.т.н., професор, професор кафедри інженерії програмного забезпечення, [iv.shostak@gmail.com](mailto:iv.shostak@gmail.com)

**Данова М.О.**, к.т.н., доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, [danovamariya@gmail.com](mailto:danovamariya@gmail.com)

**Феокистова О.І.** к.т.н., доцент кафедри менеджменту,  
[e.i.shostak@gmail.com](mailto:e.i.shostak@gmail.com)

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»

На теперішній час надзвичайної актуальності набуло питання створення інтелектуальних систем (ІС) у різних галузях науки та промисловості. Використання ІС надає змогу значною мірою спростити інженерам та науковцям пошук та доступ до потрібної (релевантної) інформації у сховищах величезних об'ємів [1]. Типовим прикладом використання інтелектуальних агентів служать системи управління роботами. Роботи можуть мати широкий асортимент рецепторів (сенсорних датчиків) і штучних ефекторів (маніпуляторів, педіпуляторів). У даному випадку мова йде про робототехнічні пристрої, що виконують завдання, пов'язані з переміщеннями в просторі. Активність і автономність роботів тісно пов'язані з наявністю засобів планування дій, систем підтримки вирішення завдань, а інтелектуалізація, крім володіння системою обробки знань, передбачає розвинені засоби комунікації різних рівнів, зокрема, засоби природньомовного спілкування [1, 2].

Невід'ємним атрибутом інтелектуальних роботів є наявність спеціальної підсистеми планування, складової програми дій робота в реальних умовах навколишнього середовища, які визначаються сенсорами робота. Для планування діяльності робот повинен мати знання про властивості навколишнього середовища і шляхи досягнення цілей в цьому середовищі.

У доповіді обговорюється створення мультиагентної системи керування групою інтелектуальних роботів для сумісної автономної, адаптивної та продуктивної роботи.

Розглянуто основні дії агентів і серверного агента (далі сервер) пов'язані з онтологією, як засобом регламентації цих дій. Першим етапом взаємодії агентів є відправлення «онтологічного запиту» на сервер. Онтологічний запит за формою являє собою «онтологічний опис», тільки спрямований до сервера. Далі, сервер по своїй базі знань звіряє наявні в ньому «онтологічні описи» з отриманим «онтологічним запитом» [2, 3]. У випадку, коли збіг має місце, сервер видає агенту параметри і адресу агента / метода для запиту. Агент, що направив запит, надсилає запит до відповідного агента з даними у вигляді структури, що містить набір релевантних параметрів. Відповідний агент передає дані також у вигляді спеціальної структури.

Виконуюча система забезпечує асинхронне виконання програм агентів при переході з одного стану в інший (диспетчер агентів), а також передачу повідомлень між агентами, при якому агент отримує «квант» часу на обробку подій і далі повертає управління диспетчеру для просування наступних агентів, тобто агенти працюють як співпрограми. Частиною цієї системи є інспектор агентів (Agent Inspector), та журнал переговорів агентів (Agent Log), що показує всі повідомлення між ними.

Для прикладу було розглянуто ІС, до складу якої входить три смарт-девайси: порохотяг, холодильник та телевізор. Зазначені агенти утворюють організацію, або агентну спільноту, що може існувати в межах спеціально розробленої мультиагентної системи. Для тестування впровадження онтології в якості бази знань в мультиагентну систему смарт-роботів було розроблено декілька сценаріїв.

Розміщення смарт-елементів визначається відповідно до призначення певних об'єктів інтернету речей. Оскільки кожен з агентів зберігає в собі карту приміщення, формується послідовність дій агентів а також сценарій їх взаємодії при виконанні ускладненого завдання. Порівняльний аналіз різних стратегій колективної взаємодії агентів за допомогою впровадження мультиагентної системи було здійснено з використанням чотирьох моделей керування смарт-елементами.

Експериментальні дослідження підтвердили працездатність розробленої системи та показали її переваги над існуючими аналогами, оскільки дана система здатна забезпечити адаптивну, дистанційну та практично самостійну роботу інтелектуальних об'єктів «Розумного будинку». Сценарії, що були розроблені, надали не тільки спосіб вирішення деяких проблем, а також показали шляхи майбутнього розвитку системи.

В порівнянні з іншими моделями керування (ручне керування, дистанційне за допомогою пульта, дистанційне за допомогою мобільних застосунків, адаптивне керування), використання адаптивного керування забезпечує скорочення часу функціонування ІС на 40-60%.

### **Література**

1. Jesse, Norbert. (2016). Internet of Things and Big Data – The Disruption of the Value Chain and the Rise of New Software Ecosystems. IFAC-PapersOnLine. 49. 275-282. 10.1016/j.ifacol.2016.11.079.
2. Shostak, L. Volobuyeva and M. Danova. "Ontology based approach for green software ecosystem formalization," in Proceedings of the IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kiev, May 24-27, 2018, pp. 603 – 606.
3. Liu, M., Xu, Y., Hu, H., & Mohammed, A. W. (2016). Semantic Agent-Based Service Middleware and Simulation for Smart Cities. Sensors (Basel, Switzerland), 16(12), 2200. doi:10.3390/s16122200

## **СЕКЦІЯ 2**

Авіаційна та космічна техніка

## **БЕЗПІЛОТНИЙ ЛІТАЛЬНИЙ АПАРАТ, ПЕРЕВАГИ, ОСОБЛИВОСТІ, ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ**

**Безвесільна О.М.**, д.т.н, проф., НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[o.bezvesilna@gmail.com](mailto:o.bezvesilna@gmail.com)

**Морозов А.В.**, к.т.н., доц., Державний університет «Житомирська політехніка»,  
[morozov@ztu.edu.ua](mailto:morozov@ztu.edu.ua)

Безпілотний літальний апарат (БПЛА) - багатофункціональний літальний апарат із фіксованим крилом, який дозволяє виконати найскладніші завдання у будь-якому середовищі.

БПЛА офіційно використовується у Збройних силах України з 2016р. БПЛА до цього два роки проходив різноманітні тестування. БПЛА успішно довів свою ефективність захисту від перешкод, продуктивність, можливість успішної роботи в екстремальних умовах.

БПЛА оснащений широким спектром варіантів корисного навантаження.

*БПЛА має такі основні переваги:*

- забезпечує здійснення різноманітних функцій (збирання інформації, спостереження, цілевказання, розвідка).
- використовується як радіотранслятор, як пристрій для відстеження мобільних телефонів, для доставки вантажів та ін.;
- надає можливість виконання наземних і морських операцій;
- має малий термін вводу в експлуатацію – 2 місяці;
- має передові технології захисту від перешкод і шифрування;
- є економічним (дозволяє знизити як експлуатаційні витрати, так і видатки на навчання та обслуговування);
- швидко налаштовує платформу до робочої готовності не залежно від місця перебування;
- дозволяє здійснювати різноманітні маневри (звичайні зліт і посадка, зліт з катапульты та парашутне приземлення, вертикальні зліт та посадка).

У сучасних БПЛА широко використовують модуль для вертикального зльоту та посадки VTOL. Цей модуль може перетворити будь-який наявний дрон на БПЛА із нерухомим крилом, що виконує вертикальний зліт і посадку.

Використовуються чотири електричних двигуна. Повністю мінімізується вплив людини при виконанні маневрів. Забезпечуються автоматичні зліт та посадка. Модуль VTOL БПЛА дозволяє злітати та сідати у морі на палубу корабля.

*Основні переваги модуля VTOL:*

- забезпечує можливість зависання у повітрі впродовж обмеженого періоду часу;
- забезпечує прості морські операції, здійснюючи керування з корабля;

- потребує менше місця для зльоту та посадки, ніж стандартний дрон із нерухомим крилом (достатньо майданчика 10x10 м);
- забезпечує мінімізацію впливу людського чинника та більш безпечно виконання операцій завдяки високому рівню автоматизації.

*VTOL БПЛА має такі основні особливості:*

- забезпечує повністю автоматичний політ за маршрутом;
- забезпечує корисне навантаження 7 кг;
- забезпечує повністю автоматичні зліт і посадку;
- забезпечує до 10 год польоту з повним навантаженням.

Завдяки VTOL, БПЛА може виконувати такі основні функції: використовуватись для охорони кордонів, для виконання берегових та морських операцій, для збирання інформації, спостереження, розвідки та перехоплення сигналів, у поліції та правоохоронних органах.

Сьогодні у світі та в Україні широко використовуються БПЛА, які дають змогу виконати найрізноманітніші завдання у різних середовищах. БПЛА захищений від перешкод, надає можливість успішного використання в екстремальних умовах і довів свою продуктивність.

*БПЛА має наступні особливості:*

1. Каркас літального апарату виконаний повністю із композитних матеріалів з використанням новітніх технологій;

2. Модульна конструкція забезпечує можливість швидко змінювати будь-яке бортове обладнання, що надає можливість налаштувати систему до будь-яких вимог і до виконання різних завдань;

3. БПЛА має низьку радіолокаційну помітність, завдяки чому БПЛА важко виявити та відстежити за допомогою радарів і зенітних комплексів (завдяки особливостям каркасу, виготовленого з композитних матеріалів, і відсутності великих металевих деталей);

4. До складу БПЛА входить 4-тактний двигун для забезпечення тривалості роботи понад 10 годин (використовується спеціальна модифікація електронної системи подачі пального, що забезпечує економію пального до 30%);

5. Оператор БПЛА може дистанційно запускати і перезапускати двигун навіть під час польоту за допомогою контролера;

6. Бортовий генератор 150 Вт (входить до складу БПЛА), дає можливість перезаряджати основні батареї під час польоту і живить обладнання на борту;

7. Паливний бак на 12 л (входить до складу БПЛА), має максимальний запас пального з метою підвищеної автономності;

8. БПЛА розроблявся для виконання військових операцій. Його навігаційна система та канали передавання даних мають функції захисту від перешкод та шифрування. БПЛА автоматично повертається до точки запуску у разі виникнення перешкод під час передавання сигналів керування;

9. БПЛА можна запускати з використанням надміцної пневматичної пускової катапульти;

10. БПЛА можна управляти з кількох авторизованих наземних станцій;

11. Отримані відеодані від БПЛА можна передавати на декілька наземних станцій керування або переглядати одночасно з декількох переносних терміналів у режимі реального часу;

12. БПЛА дає можливість різним підрозділам, злагоджено діяти при спецопераціях, навіть з літального апарату в режимі реального часу;

13. БПЛА оснащений парашутною системою приземлення із подушкою безпеки (це дає змогу пом'якшити удар). Ця система використовується, як основний метод приземлення або як аварійний варіант в автоматичному режимі;

14. У стандартну комплектацію БПЛА входять навігаційні вогні;

15. До складу БПЛА, які використовуються у правоохоронних органах, входять системи передавання даних, активні антени для захисту від впливу перешкод, супутникова система передачі даних та ін.

Комплекс БПЛА оснащений сучасним корисним навантаженням. Він забезпечує політ до 10 годин у радіусі дії 500 км, спрощує виконання розвідувальних місій, корекцію артилерійського вогню, забезпечує артилерійську підтримку.

*БПЛА, що використовується у збройних силах, має такі основні компоненти:*

- радіоретранслятор для забезпечення підтримки військових підрозділів;
- віддалені відеотермінали забезпечення підтримки військових підрозділів та інформування у режимі реального часу;
- п'ять дронів з модулями VTOL для швидкого розгортання системи та резервування у цілодобовому режимі;
- п'ять гіростабілізованих платформ для ведення розвідки та корекції артилерійського вогню.

### Література

1. Слюсар В.И. Методы передачи изображений сверхвысокой четкости Слюсар В.И. / Первая миля. Last mile. – 2019, №2. с. 46 – 61.

2. Філяшкін М. К. Алгоритм роботи адаптивної системи керування бічним рухом безпілотних літальних апаратів на етапі виходу на задану лінію шляху / Філяшкін М. К. Закардонєць А. А. // Електроніка та системи керування. – 2009. - №2(20), С. 103-109.

## **ВІДМОВОСТІЙКА НЕЧІТКА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ АВІАЦІЙНИМ ДВИГУНОМ З ВІЛЬНОЮ ТУРБИНОЮ**

**Єнчев С.В.**, к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматизації та енергоменеджементу Аерокосмічного факультету Національного авіаційного університету

Однією з головних характеристик систем керування авіаційними двигунами (АД) є надійність. Підвищення надійності базується на принципі запобігання несправностей шляхом зниження інтенсивності відмов та збоїв елементів системи автоматичного керування (САК), застосування електронних схем і компонентів з покращеними ймовірнісними характеристиками, використання полегшених режимів роботи схем.

Відмовостійкість – це така властивість САК як складної логіко-динамічної системи, яка дозволяє можливість продовження дій, заданих програмою, після виникнення відмов; комплексний показник надійності функціональної системи (ФС), визначуваний ймовірністю того, що система функціонуватиме на певному рівні якості після того, як відбудеться відмова (або декілька відмов) в компонентах її апаратури і (або) їх програмного забезпечення [1]. Забезпечення відмовостійкості вимагає структурної та програмної надлишковості. Концепції паралельності та відмовостійкості САК АД пов'язані між собою, так як в обох випадках необхідні додаткові функціональні резерви [2].

Для забезпечення надійності та відмовостійкості інтелектуальних систем керування (ІСК) АД необхідне вирішення таких задач [2]:

- контролю та діагностування стану ІСК АД;
- відновлення працездатності ІСК при виникненні відмов АД або керувальної частини САК.

Важливим напрямком в забезпеченні відмовостійкості САК АД є вдосконалення їх архітектури на основі базової концепції (Full Authority Digital Engine Control), який базується в побудові цифрової САК АД з повної відповідальністю. Сучасні бортові САК АД типу FADEC поєднують функції керування АД, а також функції контролю технічного стану, діагностики відмов елементів САК та їх парировання. Для забезпечення відмовостійкості цифрових САК на практиці використовують три способи введення резерву [1]: структурний; програмний; часовий.

У загальному випадку відмовостійкість САК АД забезпечується виконанням трьох дій: виявлення відмови, її діагностування та відновлення. У багатьох випадках відмовостійкість забезпечується шляхом використання методів приховання несправностей, для яких у явному вигляді відсутні операції виявлення та діагностування.

Системи автоматичного керування АД з нечіткими регуляторами можна віднести до класу динамічних експертних систем [1]. Поруч з алгоритмами керування, які використовуються за нормальних умов польоту ПС. База знань

нечіткої ІСК авіаційним АД повинна містити в собі алгоритми розпізнавання нештатних ситуацій в польоті та правила прийняття рішень у цих ситуаціях. Згідно [1] розрізняють такі нормовані за НТД вимоги до можливих проявів особливих польотних ситуацій:

- ускладнення умов польоту (УУП);
- складній ситуації (СС);
- аварійній ситуації (АС);
- катастрофічній ситуації (КС).

У разі виявлення відмови одного з елементів САК АД, база знань дозволяє обрати одне з можливих альтернативних рішень для досягнення поставленої задачі керування ІСК авіаційним АД за рахунок наявних видів резервування без або з частковою втратою якості керування.

На рис. 1 наведена структурна схема нечіткої відмовостійкої САК АД, де  $\bar{G}$  - вектор задавальних впливів;  $\bar{Y}$  - вектор вимірюваних параметрів АД;  $\bar{U}$  - вектор керувальних впливів;  $\bar{E}$  - вектор похибок керування;  $d\bar{E}$  - вектор похідних похибок керування. Вектор керувальних впливів  $\bar{U}$  формується за такими етапами [3]:

1. Визначення відхилень вектора похибок керування  $\bar{E}$  та вектора похідних похибок керування  $d\bar{E}$ .

2. Фазифікація даних векторів  $\bar{E}$  та  $d\bar{E}$ , тобто перетворення отриманих значень до нечіткого вигляду, у формі лінгвістичних змінних.

3. Визначення нечітких (якісних) значень вектора керувальних впливів  $\bar{U}$  або його приросту  $d\bar{U}$  у вигляді функцій приналежності відповідним нечітким підмножинам на основі раніше сформульованих правил логічного виводу записаних в базі правил (знань).

4. Дефазифікація – обчислення реальних числових значень вектора  $\bar{U}$ , які використовуються в якості керувальних впливів АД.

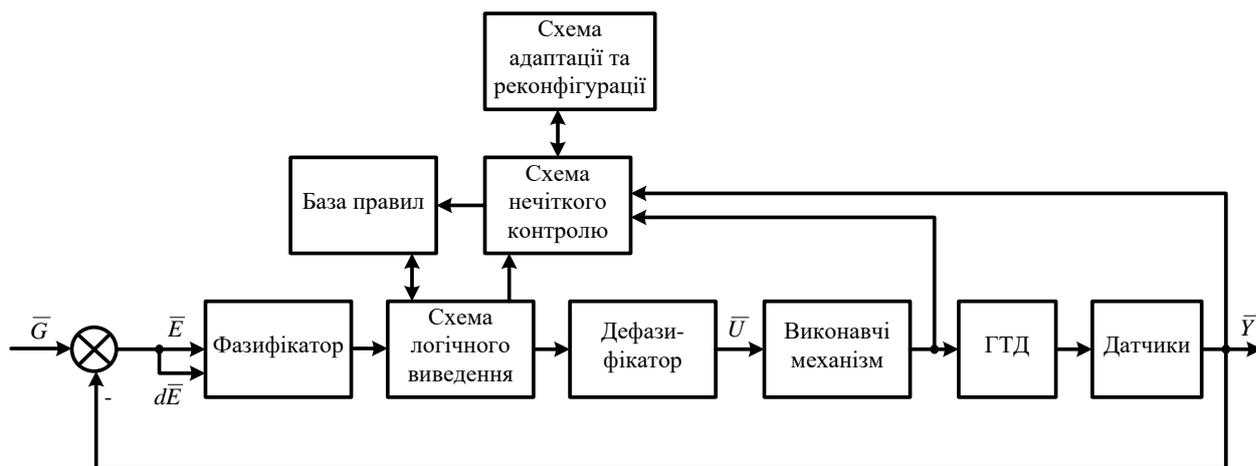


Рис 1. Структурна схема нечіткої відмовостійкої САК АД

На рис. 2. наведено один з можливих виглядів таблиці рішень для двох змінних  $X_k$  і  $X_n$ , що являє собою набір нечітких правил «ЯКЩО-ТО» для  $i$ -го каналу керування САК АД.

		$X_n$								
		VLN	LN	MN	SN	Z	SP	MP	LP	VLP
$X_k$	VLN	VLN	LN	MN	SN	Z	SP	MP	LP	VLP
	LN	VLN	LN	MN	SN	Z	SP	MP	LP	VLP
	MN	VLN	LN	MN	SN	Z	SP	MP	LP	VLP
	SN	VLN	LN	MN	SN	Z	SP	MP	LP	VLP
	Z	VLN	LN	MN	SN	Z	SP	MP	LP	VLP
	SP	VLN	LN	MN	SN	Z	SP	MP	LP	VLP
	MP	VLN	LN	MN	SN	Z	SP	MP	LP	VLP
	LP	VLN	LN	MN	SN	Z	SP	MP	LP	VLP
	VLP	VLN	LN	MN	SN	Z	SP	MP	LP	VLP

Рис. 2. Розширена таблиця рішень нечіткої САК АД

Змінні  $X_k$  і  $X_n$  можуть приймати множину якісних значень:

$$S = \{Z, SP, MP, LP, VLP, SN, MN, LN, VLN\},$$

де  $Z$  - «нуль»;  $SP$  - «мале додатне»;  $MP$  - «середнє додатне»;  $LP$  - «велике додатне»;  $VLP$  - «дуже велике додатне»;  $SN$  - «мале від'ємне»;  $MN$  - «середнє від'ємне»;  $LN$  - «велике від'ємне»;  $VLN$  - «дуже велике від'ємне».

Клітини розширеної таблиці значень заповнюються на основі правил прецедентів, експертних оцінок, які містяться в базі знань. На основі експертних оцінок або експериментальним шляхом визначається допустимий діапазон зміни змінних  $X_k$  і  $X_n$  САК АД і правила поведінки (прийняття рішень) в штатних та особливих ситуаціях у польоті. Відмова у цьому випадку визначається з якісними значеннями сигналів похибок та їх похідних.

Висновки. Таким чином, застосування відмовостійкої ІСК АД на основі нечіткої логіки дозволяє забезпечити локалізацію відмови та її парирування та зберегти при цьому необхідну якість процесів керування. Перевагою цього підходу є можливість використання знань про поведінку САК АД у вигляді правил, що дозволяє виконати оцінку ситуації на якісному рівні.

### Література

1. Захарченко В.П., Єнчев С.В., Товкач С.С., Ільєнко С.С. Системна ефективність програмованої експлуатації авіоніки: монографія / за заг. ред. В.М. Воробйова. Київ: НАУ, 2018. 192 с.
2. Ранченко Г.С., Буряченко А.Г. Перспективи розвитку електронних САУ АД. Авиаци.-косм. техника и технология. 2018. №7(151). С.95-100.
3. Кузнецова Т.А., Августиневич В.Г., Губарев Е.А. Алгоритмы диагностики и парирувания отказов каналов измерения системы автоматического управления авиационным двигателем. Вестник ПНИПУ: Электротехника, информ. технологии, с-мы управления. 2015. №16. С.5-14.

**МУЛЬТИРОТОРНИЙ (48-РОТОРНИЙ) КОНВЕРТОПЛАН  
ДИСКОЛЬОТНОЇ ФОРМИ (БАГАТОДВИГУНЕВИЙ  
МУЛЬТИРОТОРНИЙ КОНВЕРТОПЛАНОВИЙ ДИСКОЛІТ) З  
ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОЮ СИСТЕМОЮ РОЗДІЛЬНОГО  
ПАРАЛЕЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЙОГО ДВИГУНАМИ**

**Нахаба О.О.**, наук.співр., НАУ, [nakhaba91@ukr.net](mailto:nakhaba91@ukr.net)

**Вступ.** Проблема розробки та будування нових мультироторних безпілотних літальних апаратів із можливістю ідеально плавного вертикального зльоту та посадки, із можливістю ювелірно точного маневрування, із можливістю нерухомого зависання, із можливістю горизонтального переміщення на високих швидкостях, із високим рівнем безпеки польоту, живучості та отказостійкості, багатократного резервування функціональних елементів літального апарату є досить актуальним.

**Матеріали і методи.** У ході виконання дисертаційної роботи «Структурно-параметричний синтез для оптимізації мультироторної безпілотної авіаційної системи» та у рамках виконання пошукової НДР «Розробка нових видів мультироторних літальних апаратів вертикального зльоту-посадки та високоточного маневрування із незалежними вертикальною та горизонтальною складовими польоту (дискольтотів суто полікоптерної схеми із перпендикулярним розташуванням двигунів вертикального зльоту, мультироторних конвертопланів літакового типу із полікоптерним алгоритмом керування польотом, мультироторних стелс-конвертопланів літакового типу із полікоптерним алгоритмом керування польотом, та мультироторних конвертопланів дискольтотного типу із полікоптерним алгоритмом керування польотом) для пересування у щільних шарах планетарної атмосфери (у повітряному просторі), у розріджених шарах планетарної атмосфери (у стратосфері) та у комірному просторі, у тому числі із використанням нових інерційних (гравітаційних) двигунів.» Нахабою О.О. розроблено мультироторний (48-роторний) конвертоплан дискольтотної форми (багатодвигуневий мультироторний конвертоплановий дисколіт) з децентралізованою системою роздільного паралельного керування його двигунами, котрий успішно запатентований в Україні.

На Рис.1 показано 48-роторний дисколіт (вид зверху), де:

1 – напівсферичне (параболічне, куполоподібне) крило дискольтоту,\  
2 – двигуни вертикального зльоту (вертикальної тяги), 3- кабіна дискольтоту.

На Рис.2 показано 40-роторна модифікація 48-роторного дискольтоту (вид зверху), у котрій збільшено обсяг кабіни (3) за рахунок 8 центральних двигунів вертикального зльоту (вертикальної тяги).

На Рис.3 показано схему децентралізованої системи роздільного паралельного керування його двигунами 48-роторного дискольтоту шістьма автопілотами.

На Рис.4 показано схему централізованої системи роздільного паралельного керування його двигунами 48-роторного дискольоту одним автопілотом.

**Результати та їх обговорення.** Після зборки та необхідних налаштувань, проведено серію стендових та льотних випробовувань даного мультироторного (48-роторного) дискольоту на різних висотах при вертикальному та горизонтальному польоті із вимірюванням часу польоту на одній силовій акумуляторній батареї і порівняння цих результатів із попередніми результатами польоту на подібних за масою мультироторних безпілотних літальних апаратів, але без куполоподібного крила. Отримані результати свідчать про збільшення часу польоту з 40 до 60 хвилин.

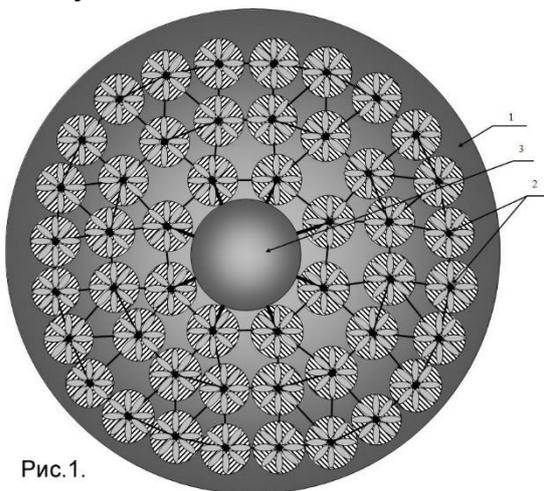


Рис.1.

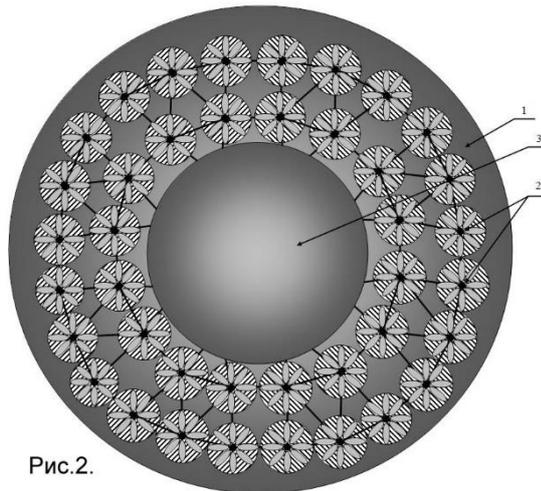


Рис.2.

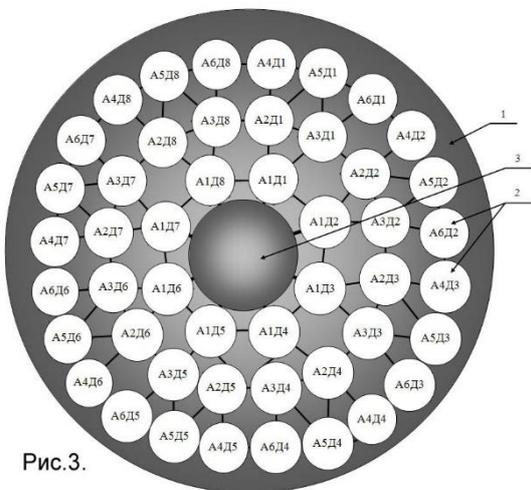


Рис.3.

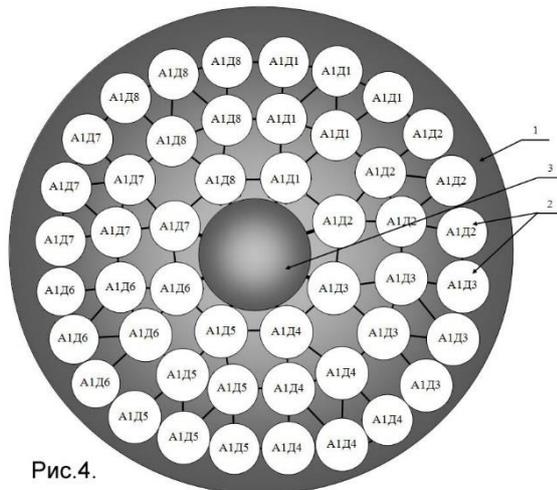


Рис.4.

**Висновки.** Отримані нові експериментальні дані льотних випробовувань мультироторної безпілотної авіаційної системи із куполоподібним крилом свідчать про можливість економії від 15 до 35% енергії (електроенергії) за рахунок використання додаткової підйомної сили куполоподібного крила (при горизонтальному польоті) та за рахунок ефекту Коанди (при зависанні дискольоту). Збільшення кількості роторів до 48 та збільшення кількості керуючих автопілотів до 6 значно збільшує живучість та відмовостійкість літального апарату, значно збільшує безпеку польоту та робить його використання цілком безпечним навіть в умовах густонаселених кварталів сучасного мегалополіса. Даний мультироторний (48-роторний) дисколіт є прозорим і малопомітним для сучасних радіолокаційних засобів.

## **НЕОБХІДНІСТЬ ДОДАТКОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ СТАНДАРТІВ ISO/IEC 31000 В АВІАЦІЙНІЙ ГАЛУЗІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ**

**Попов О.В.**, канд. техн. наук, доц., Національний авіаційний університет,  
[popche@ukr.net](mailto:popche@ukr.net)

**Савченко І.А.**, магістр, Національний авіаційний університет,  
[deymos.moon@gmail.com](mailto:deymos.moon@gmail.com)

Безпека польотів (БП) є одним із ключових завдань для всіх учасників авіаційної діяльності. Підтримання балансу складових безпеки, регулярності й економічної ефективності перевезень вимагає застосування низки організаційних і технічних заходів, безперервного контролю та удосконалення. Безпека польотів повітряних суден (ПС) ЦА являє собою такий стан системи, при якому ризик завдання шкоди особам або майну знижено до прийняттого рівня та підтримується на ньому (або на нижчому) шляхом безперервного процесу виявлення джерел небезпеки й контролю факторів ризику [1].

Льотна придатність (ЛП) ПС безпосередньо впливає на БП. Тому управління безпекою в сфері технічного обслуговування (ТО) має принципово важливе значення для даного процесу [1]. Кожен експлуатант ПС повинен розробити заходи з підтримання ЛП наявного авіапарку, згідно з Doc. 9760 AN/967 та Part-M, сформувавати систему управління безпекою польотів (СУБП), використовуючи Doc. 9859 AN/460 та Doc. 8973 ICAO.

Але це лише частина загальної документальної бази для роботи авіапідприємства. Низкою документів міжнародних організацій ЦА, таких як: Part-M, Part-145, IR-OPS [2], вказується на необхідність розробки та впровадження системи менеджменту якості (СМЯ) у діяльність компаній-експлуатантів та їх партнерів з метою моніторингу відповідності щодо хвалених процедур, механізмів адаптування до необхідних змін, розробки корегувальних дій щодо досягнення бажаної результативності за певними показниками [3]. Як правило, їх перевірка та перегляд відбувається не рідше одного разу на рік.

Але зміни такої динамічної системи, як сучасна авіатранспортна, можуть відбуватись скоріше, ніж змінюються показники, що характеризують їх стан, в тому числі частота авіаційних пригод, що мали місце за певний оцінюваний період, тобто в минулому. Вони залежать від низки факторів локального, регіонального або світового масштабу і можуть позначитись як на певному секторі так і на усій авіаційній галузі. Наразі попит на ринку авіаперевезень суттєво скоротився і зазнав радикальних змін через всесвітній карантин, зумовлений пандемією COVID-19. Можливості швидкого подолання значних відстаней, щільність розміщення сидінь та особливості мікроклімату в салоні літака підвищують рівень небезпеки поширення хвороби. Таким чином суворі обмеження кількості пасажирських рейсів є додатковими протиепідемічними заходами, що триватимуть якомога довше. До недавніх часів розвиток ЦА носив такий характер, при якому враховувалось значне зростання авіаперевезень,

масове оновлення парку ПС і відповідна зміна у структурі та кваліфікації авіаційних спеціалістів [1]. Тепер авіакомпаніям та супутній інфраструктурі доводиться пристосовуватись до загального скорочення рейсів, консервації певної кількості ПС зі свого парку, пристосовувати пасажирські літаки для перевезення вантажів. Відновлення перевезень пасажирів можливе за дотримання низки вимог щодо забезпечення бар'єрів передачі вірусу: дистанція між людьми, засоби індивідуального захисту тощо [4]. Дані заходи виходять за межі звичайних процедур, прописаних у СМЯ авіапідприємств. Складні умови, в яких опинилась авіаційна галузь, потребують оперативного перегляду робочих програм щодо забезпечення діяльності учасників та забезпечення належного рівня послуг. Такі швидкі переходи в діяльності компаній нерідко супроводжується невизначеними ситуаціями та ризиками. На переважній більшості світових авіапідприємств впроваджено СМЯ за стандартом ISO 9001:2015. У стандарті ISO 9001:2015 приділено увагу до визначення ризиків, як основи для планування процесів [3].

Основні напрямки перегляду діяльності авіапідприємств пов'язані з: необхідністю підтримання ЛП в умовах довготривалого простою ПС; адаптацією до вантажоперевезень в пасажирських салонах літаків; дотриманням протиепідемічних заходів для пасажирських рейсів. Методик оцінювання ризиків, наявних у Doc. 9859 AN/460, для відповідної оцінки перелічених вище напрямків, недостатньо через їхню специфіку в області авіаційної діяльності. Таким чином постає необхідність у використанні стандартів ISO/IEC 31000 «Ризик-менеджмент. Принципи, рекомендації та основні методи оцінювання ризиків».

Взагалі, аналіз ризику являє собою структурований процес, метою якого є визначення вірогідності та значущості несприятливих наслідків досліджуваного об'єкта (процесу, події) [1].

Для напрямку пасажирських авіаперевезень необхідно оцінити заходи для захисту льотних екіпажів (можливе впровадження нового комплекту уніформи за прикладом компанії Air Asia [5] або доукомплектація наявного), спосіб розміщення пасажирів у салоні, процедури допуску пасажирів у салон, здійснення послуг для забезпечення комфортного перельоту (кетерінг, м'який інвентар, побутові зручності тощо), удосконалення роботи систем кондиціонування повітря [4].

За умов здійснення перевезень вантажів у пасажирських салонах можливі наступні варіанти, що потребують повного або часткового демонтажу сидінь. Виробником [6] пропонується використання спеціальних чохла для коробок, що розміщуються на стандартних сидіннях, не потребують задіяння інженерно-технічного персоналу (ІТП), можуть бути прибрані за потребою. Для варіанту з частковим демонтажем сидінь також пропонуються спеціальні пристрої [6], але у цьому випадку необхідні послуги ІТП, так само як і для завантаження салону без рядів крісел із кріпленням до пазів на підлозі. Але найбільш суттєвим напрямком оцінки ризиків є проблема ТО ПС в умовах тривалого простою. Наразі близько 40 % світового авіапарку знаходиться у законсервованому стані,

а процес виведення з експлуатації старих ПС прискорено [4]. Через брак спеціально відведених місць більшість літаків розміщено в умовах, що неповністю відповідають вимогам безпечного зберігання за технічними та кліматичними ознаками. Крім того, розміщення імпровізованих стоянок може відбуватись таким чином, що деякі ПС будуть заблокованими на невизначений термін, що може бути перешкодою для здійснення деяких видів і операцій ТО, а отже, до невідповідності вимогам ЛП. Також мають місце кадрові ризики з боку ІТП через те, що потенційна небезпека може виникнути в зв'язку з умовами, в яких відбуваються роботи з ТО, а її наслідки проявляться з часом. Особливості робіт зумовлені природньо-кліматичними умовами місця консервації (простою) ПС. Можливості для перевірки якості виконання процедур технічного обслуговування з боку експлуатантів обмежена карантинними заходами, повнотою інформації щодо змін поточного технічного стану ПС (наявність конденсату, прояви корозії тощо) та вибором ІТП. Не дивлячись на те, що роботу з організацій з ТО регламентовано Part-145, існує певний рейтинг за яким обирають виконавців робіт. Наразі гнучкість даного процесу обмежена й експлуатантам доводиться працювати в умовах підвищеного рівня ризиків. Перш, ніж буде здійснено причинно-наслідковий аналіз та розроблено запобіжні заходи, можлива певна кількість авіаційних подій та втрати ресурсів компанії [1].

Виходячи з викладеного вище, стає доцільним застосування стандартів ISO/IEC 31000 для оцінки та управління ризиками в авіаційній галузі в сучасних умовах додатково до Doc .9859 AN/460.

### Література

1. Гипич Г.Н., Любомиров И.С. Система управления безопасностью полетов в организациях по техническому обслуживанию. Научный вестник МГТУ ГА № 178. - М.: Изд-во МГТУ ГА, 2012.
2. Офіційний сайт European Union Aviation Safety Agency. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.easa.europa.eu/>
3. Герасимов А.А., Мільцов В.Є. Роль «Системи менеджменту якості» та її методи управління в розвитку компаній, що надають послуги в сфері вантажних авіаперевезень. Наукоємні технології № 1 (41). - К. : НАУ, 2019.
4. Полёты в эпоху после коронавируса: как может измениться мировая авиация. – Назва з екрану. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.avianews.com/blog/2020/04/18/flights\\_after\\_covid19/](https://www.avianews.com/blog/2020/04/18/flights_after_covid19/)
5. AirAsia launches new flight attendant uniform with long sleeves, face mask and hood. – Назва з екрану. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.foxnews.com/travel/airasia-new-flight-uniform-face-mask-hood>
6. Комбинированные грузопассажирские перевозки в салоне самолетов: авиакомпаниям предложили новое решение (фото, видео). – Назва з екрану. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://cfts.org.ua/news/2020/04/22/kombinirovannye\\_gruzopassazhirskie\\_perevozki](https://cfts.org.ua/news/2020/04/22/kombinirovannye_gruzopassazhirskie_perevozki)

## АНАЛІЗ НАВІГАЦІЙНИХ ПОХИБОК ВІД РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ І ГРАВІТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ ТА БАГАТОПРОМЕНЕВОГО ПОШИРЕННЯ СИГНАЛУ

**Рудик А.В.**, д.т.н., доцент, Національний університет водного господарства та природокористування, [a.v.rudyk@nuwm.edu.ua](mailto:a.v.rudyk@nuwm.edu.ua);

**Романцев О.В.**, здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня, Національний університет водного господарства та природокористування

Середньоорбітальні супутникові радіонавігаційні системи (СРНС) є технічними системами, на характеристики яких суттєвий вплив мають закони загальної та спеціальної теорії відносності Ейнштейна. Пов'язано це з такими причинами [1, 2]:

- навігаційні супутники (НС) рухаються за орбітами з достатньо високими швидкостями;
- різниця гравітаційних потенціалів в точках знаходження НС та рухомого об'єкту (мобільного робота, МР) така, що нею не можна знехтувати;
- Земля з МР, що на ній знаходиться, обертається відносно інерціальної системи координат, в якій задається рух НС.

Розрахунки, проведені в [3] для параметрів Землі та орбіт НС ГЛОНАСС, дають такий результат:  $\frac{f - f'}{f'} \approx 4.36 \cdot 10^{-10}$ . Таким чином, з точки зору спостерігача, що знаходиться на Землі, частота опорного генератора НС  $f$  буде здаватися більшою, ніж частота  $f'$ , яку фіксує спостерігач, що знаходиться на НС.

Номінальне значення частоти бортового опорного генератора для наземного спостерігача має відповідати  $f_{oz.0} = 5.0 \text{ МГц}$ . Тоді реальна частота опорного генератора, який знаходиться на борту НС, дорівнює  $f'_{oz} = (1 - 4.36 \cdot 10^{-10}) \cdot f_{oz.0} = 4999999,99782 \text{ Гц}$ , тобто на 2.18 мГц менше номінального значення  $f_{oz.0}$ . Компенсація даного релятивістського ефекту реалізується зміщенням частоти опорного генератора при його налаштуванні на Землі [4].

Другий тип релятивістського ефекту пов'язаний з відмінністю траєкторії НС від кругової, що характеризується ексцентриситетом орбіти  $e$ . Для некругових орбіт швидкість НС у перигеї більше, ніж в апогеї, а гравітаційний потенціал – менше. Це приводить до того, що бортовий годинник йде повільніше в перигеї та швидше в апогеї. Часова поправка до часу бортового годинника, яка відповідає руху НС за круговою орбітою, розраховується за такою формулою [5]:

$$\delta t_e = \frac{2r(t_e) \cdot v(t_e)}{c^2} = \frac{2\sqrt{\mu a e} \sin\{E(t_e)\}}{c^2}, \quad (1)$$

де  $r(t_g)$  та  $v(t_g)$  – радіус-вектори положення та швидкості НС на момент часу  $t_g$  випромінення сигналу;  $E(t_g)$  – значення ексцентричної аномалії на момент часу  $t_g$ ;  $a$  – більша піввісь орбіти НС;  $\mu$  – геоцентрична гравітаційна стала Землі.

В роботі [6] зазначається, що похибка (1) може складати 70 нс (21 м). Тому такий релятивістський ефект необхідно компенсувати для отримання високоточних навігаційно-часових визначень (НЧВ), що може бути реалізовано в приймальній апаратурі на основі даних, які містяться в навігаційному повідомленні.

Ще один релятивістський ефект пов'язаний з обертанням Землі. При цьому відповідна часова поправка

$$\delta t_{\Omega} = \frac{\Delta r \cdot v}{c^2} = \frac{(r_n - r_{nc}) \cdot (\Omega_3 \times r_n)}{c^2}, \quad (2)$$

де  $r_n$  і  $r_{nc}$  – радіус-вектори МР та НС в момент випромінення сигналу;  $\Omega_3$  – вектор кутової швидкості обертання Землі відносно інерціальної системи координат.

Якщо приймач рухається відносно Землі з вектором швидкості  $v_0$ , то в формулі (2) замість вектора швидкості  $v = \Omega_3 \times r_n$  потрібно використовувати вираз  $v = \Omega_3 \times r_n + v_0$ . Похибка, обумовлена обертанням Землі, може складати величину до 100 нс (30 м), тобто її також необхідно компенсувати для отримання високої точності НЧВ [7].

При роботі приймальної частини СРНС у міських умовах (а також у будь-яких інших ситуаціях, для яких характерні відбиття сигналу від навколишніх предметів) на вхід приймача, окрім сигналів НС, надходять перевідбиті від навколишніх об'єктів сигнали. Такі сигнали мають меншу, ніж у прямого сигналу, амплітуду, додаткову затримку огинальної та додатковий фазовий зсув, які можуть змінюватися з часом. Додавання всіх прийнятих сигналів на вході приймача приводить до утворення підсумкового сигналу, у якого амплітуда, фаза та затримка огинальної є флуктуаційними змінними, що приводить до виникнення похибки оцінювання псевдодальності, псевдошвидкості та псевдоприскорення. Крім того, спотворюються форми дискримінаційних характеристик дискримінаторів затримки і фази (або частоти), що негативно впливає на точність сформованих оцінок.

Тому що в приймальному пристрої відбувається кореляційна обробка сигналів, то затримка огинальної відбитого сигналу на величину, більшу або рівну тривалості символу дальномірного коду (2 мкс), не впливає на роботу приймального пристрою. Це можна використовувати для грубої оцінки максимально можливої помилки оцінки псевдодальності, обумовленої багатопробним поширенням сигналу [8]:

$$\delta \hat{D}_{\text{оцін. макс}} = c \cdot \delta t_{\text{оцін. макс}} = 3 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 600 \text{ м}.$$

Якщо сигнал надходить від НС, розташованого в zenіті, то умов для його перевідбиття виникає суттєво менше, ніж при отриманні сигналу від НС, що знаходиться під низьким кутом місця. Тому одним з методів боротьби з

багатопробеневи поширенням є відмова від роботи за сигналами НС з малим кутом місця. Тому використовують маскування сигналів НС з кутом місця менше  $10^\circ$ , що вирішується при проектуванні антен приймачів так, щоб для кутів, менших кута маски, коефіцієнт підсилення антени був меншим, ніж для іншого сектора кутів.

Інший метод боротьби оснований на тому, що з НС випромінюється сигнал з круговою поляризацією. При перевідбитті сигналу від місцевих об'єктів змінюється характер його поляризації. Тому використання приймальних антен, узгоджених з поляризацією прямого сигналу, послаблює вплив перевідбитих сигналів приблизно на 3 дБ за потужністю. Крім того, відомі розробки спеціальних антен, що знижують вплив багатопробеневого поширення сигналів [9]. Природним методом боротьби з багатопробеневи поширенням є підняття антени приймача на максимально можливу висоту відносно найбільш інтенсивно відбиваючих об'єктів. Для нерухомих приймачів зменшення впливу багатопробеневого поширення сигналів на точність визначення псевдодальності може бути вирішено за рахунок додаткових вимірювань фазових параметрів сигналів (до основних кодових вимірювань).

### Література

1. Kaplan, E. Understanding GPS: Principles and Applications / E. Kaplan, C. Hegarty. – Artech House, 1996. – 707 p.
  2. Parkinson, B. W. Global Positioning System: Theory and Application / B. W. Parkinson, J. J. Spilker Jr. – AIAA. Inc., Washington, vol. 1, 1996. – 643 p.
  3. Тяпкин, В. Н. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск: учебник / В. Н. Тяпкин. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2011. – 536 с.
  4. Рудик, А. В. Наукові основи та принципи побудови приладової системи вимірювання прискорення мобільного робота. Монографія / А. В. Рудик, В. П. Квасніков. – Харків : Мачулін, 2018. – 272 с.
  5. Дулевич, В. Е. Теоретические основы радиолокации / В. Е. Дулевич. – М.: Советское радио, 1978. – 608 с.
  6. Виноцкий, А. С. Автономные радиосистемы / А. С. Виноцкий. – М. : Радио и связь, 1986. – 335 с.
  7. Фатеев, Ю. Л. Теоретические основы и практическая реализация угловых измерений на основе глобальных навигационных спутниковых систем : дис. д.т.н. 05.12.04 / Ю. Л. Фатеев. – Красноярск, 2004. – 339 с.
  8. Рудик, А. В. Оцінка точності навігаційно-часових визначень в супутникових радіонавігаційних системах / А. В. Рудик // Вісник Інженерної академії України. – 2016. – № 3. – С. 39-45.
- Рудик, А. В. Методи вимірювання координат та параметрів руху об'єктів з використанням супутникових радіонавігаційних систем / А. В. Рудик // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – №4. – С.51-56.

## АНАЛІЗ НАВІГАЦІЙНИХ ПОХИБОК, ЩО ВИНИКАЮТЬ ВНАСЛІДОК НЕПОВНОГО ВРАХУВАННЯ УМОВ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ

**Рудик А.В.**, д.т.н., доцент, Національний університет водного господарства та природокористування, [a.v.rudyk@nuwm.edu.ua](mailto:a.v.rudyk@nuwm.edu.ua)

**Ярош Д.Р.**, здобувач вищої освіти другого рівня, Національний університет водного господарства та природокористування

Тропосферна складова похибки вимірювання псевдодальності  $T$  складатися з двох компонент – перша ( $T_d$ ) визначається впливом сухої атмосфери, а друга ( $T_w$ ) залежить від вмісту водяних парів в атмосфері:  $T = T_d + T_w$ .

Для компенсації тропосферної похибки вимірювання псевдодальностей використовують різні моделі [1], найбільш поширеними з яких є моделі Хопфілда та Саастмоїнена. Модель тропосфери Саастмоїнена є залежністю виду

$$T = \frac{0.002277}{\cos \gamma} \left( p + \left( \frac{1255}{t} + 0.05 \right) \cdot e - tg^2 \gamma \right), \quad (1)$$

де  $\gamma$  – кут місця навігаційного супутника (НС), град;  $p$  та  $e$  – атмосферний і парціальний тиск, мб;  $t$  – температура, К.

Згідно моделі Хопфілда тропосферні складові похибки:

$$T_d = \frac{1.5528 \cdot 10^{-5} \cdot P}{\sin \sqrt{\gamma^2 + 6.25}} \cdot [40136 + 148.72 \cdot (t - 273.16)]; \quad (2)$$

$$T_w = 0.0022 \cdot \frac{e \cdot (3.718 \cdot 10^5 - 12.96t)}{t^2 \sin \sqrt{\gamma^2 + 2.25}}. \quad (3)$$

Як показують розрахунки, при однакових вхідних параметрах моделі Саастмоїнена та Хопфілда дають однакові величини похибки [1]. На рис. 1, а наведена залежність тропосферної складової похибки вимірювання псевдодальностей від кута місця при типових значеннях  $p = 1003$  мб,  $t = 289.65$  К,  $e = 8$  мб, що відповідає  $t = 16.5$  °С, відносній вологості 46% та атмосферному тиску 103 кПа [2].

Чутливість моделі тропосфери до варіацій її параметрів визначається при розкладанні (1) в ряд Тейлора:

$$\begin{aligned} \Delta T &\approx \left. \frac{\partial T}{\partial p} \right|_{p_0, e_0, t_0} \cdot \Delta p + \left. \frac{\partial T}{\partial e} \right|_{p_0, e_0, t_0} \cdot \Delta e + \left. \frac{\partial T}{\partial t} \right|_{p_0, e_0, t_0} \cdot \Delta t = S_p \Delta p + S_e \Delta e + S_t \Delta t = \\ &= \frac{0.002277}{\cos(90 - \gamma)} \cdot \left\{ \Delta p + \left( \frac{1255}{t} + 0.05 \right) \cdot \Delta e - \frac{1255 \cdot e}{t^2} \cdot \Delta t \right\}, \quad (4) \end{aligned}$$

де  $\Delta p$ ,  $\Delta e$  та  $\Delta t$  – похибки вимірювання атмосферного і парціального тиску водяної пари та температури;  $p_0$ ,  $e_0$ ,  $t_0$  – точні значення параметрів моделі тропосфери;  $S_p$ ,  $S_e$ ,  $S_t$  – функції чутливості моделі тропосфери до

похибок вимірювання атмосферного і парціального тиску водяної пари і температури.

Якщо значення похибок вимірювання метеопараметрів менше  $\Delta p = \pm 2 \text{ кПа}$ ;  $\Delta e = \pm 2\%$ ;  $\Delta t = \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , то другий і третій доданки в (4) не будуть суттєво впливати на величину  $\Delta T$ . Тому тільки похибка вимірювання атмосферного тиску буде суттєво впливати на похибку визначення тропосферної складової похибки вимірювання псевдодальностей [1], тобто  $\Delta T \cong \frac{0.002277}{\cos(90 - \gamma)} \cdot \Delta p$  (рис. 1, б).

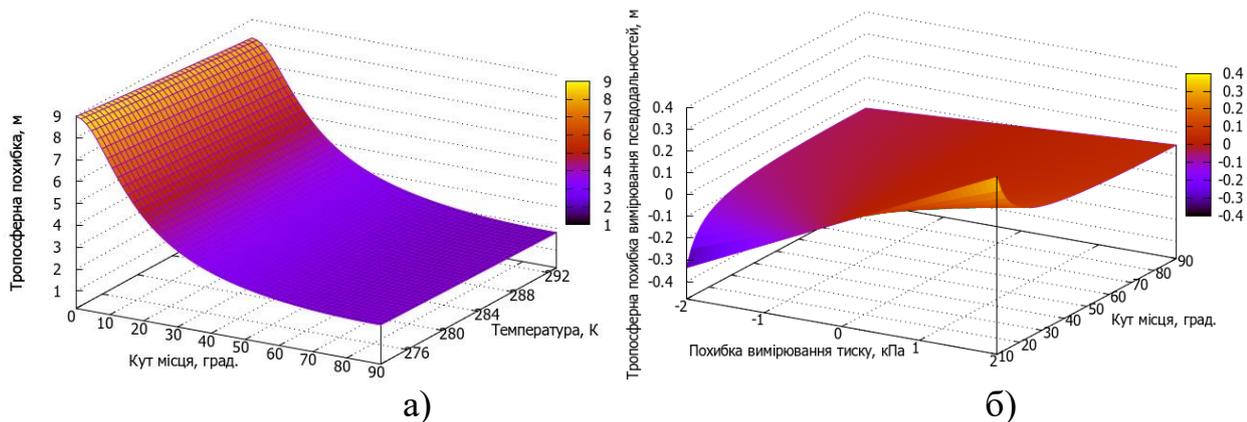


Рис. 1. Тропосферні складові похибки вимірювання псевдодальності в залежності від кута місця НС згідно моделей Саастмоінена та Хопфілда (а) та в залежності від похибки вимірювання атмосферного тиску (б)

Рефракція в іоносфері обумовлена неоднорідностями та зміною діелектричної проникності в залежності від висоти. Затримку сигналу з частотою  $f$  можна апроксимувати співвідношенням

$$\Delta t_i = \frac{a}{f^2} + \frac{b}{f^3} + \frac{c}{f^4} + \dots \approx \frac{a}{f^2}. \quad (5)$$

Експериментально доведено [3], що другим і третім доданками можна знехтувати. Для робочої частоти  $GPS$  значення затримки сигналу оцінюється величиною 0.25 нс. Основна проблема при компенсації іоносферної затримки полягає в її зміні в залежності від регіону, в якому розташований приймальний пристрій, часу доби і року, а також сонячної і геомагнітної активності (може складати 10 нс (3 м) вночі та доходити до 50 нс (15 м) вдень).

Для невеликих кутів місця  $\gamma = (0..10)^\circ$  додаткова затримка сигналу, обумовлена впливом іоносфери, може збільшитися до 3 разів порівняно з поширенням сигналу з точки зеніту та складає від 30 нс (9 м) вночі до 150 нс (45 м) вдень.

Іоносферні затримки необхідно враховувати, якщо потрібно досягти точності визначення координат менше 8 м. В СРНС  $GPS$  для цього використовується постійний моніторинг стану іоносфери, який включає спостереження за сонячною активністю, прямі та непрямі методи вимірювання концентрації вільних електронів в іоносфері, а також апаратне вимірювання затримки сигналу на різних станціях стеження. Розрахунок складної

параметричної моделі в стаціонарних умовах дозволяє зменшити вплив іоносферної похибки на (60...70)%. Коефіцієнти моделі іоносфери оновлюються раз на 10 днів, але можуть оновлюватися і частіше у періоди підвищеної сонячної активності [4].

В табл. 1 наведені похибки координат та математичні сподівання (МС) похибки вимірювання координат, отримані при експериментальних дослідженнях [5]. Таким чином, за результатами експериментальних досліджень показано, що врахування впливу іоносфери та тропосфери при визначенні координат за сигналами *GPS* дозволяє зменшити середньоквадратичне відхилення (СКВ) визначення висоти у (2...3) рази та МС похибки у (2,5...6) разів. Однак іоносфера та тропосфера слабо впливають на похибку визначення координат в горизонтальній площині (широта та довгота) – зменшення СКВ не перевищило 1.5 рази.

Таблиця 1

Складові похибки вимірювання координат та їх математичне сподівання

Складові похибки	Складові похибки вимірювання координат			МС похибки вимірювання координат		
	СКВ без врахування іоносфери та тропосфери $\sigma_1$ , м	СКВ з врахуванням іоносфери та тропосфери $\sigma_2$ , м	$\frac{\sigma_1}{\sigma_2}$	МС без врахування іоносфери та тропосфери $m_1$ , м	МС з врахуванням іоносфери та тропосфери $m_2$ , м	$\left  \frac{m_1}{m_2} \right $
По широті X	5.38	3.90	1.38	-4.64	-3.14	1.48
По висоті Y	12.91	5.14	2.51	12.02	-3.91	3.1
По довготі Z	5.23	4.74	1.10	-4.74	-4.5	1.05

### Література

1. Kaplan, E. Understanding GPS: Principles and Applications / E. Kaplan, C. Hegarty. – Artech House, 1996. – 707 p.
2. Рудик, А. В. Наукові основи та принципи побудови приладової системи вимірювання прискорення мобільного робота. Монографія / А. В. Рудик, В. П. Квасніков. – Харків : Мачулін, 2018. – 272 с.
3. Parkinson, B. W. Global Positioning System: Theory and Application / B. W. Parkinson, J. J. Spilker Jr. – AIAA. Inc., Washington, vol. 1, 1996. – 643 p.
4. Яценков, В. С. Основы спутниковой навигации : системы GPS и ГЛОНАСС / В. С. Яценков. – М. : Горячая линия – Телеком, 2005. – 272 с.
5. Рудик, А. В. Оцінка точності навігаційно-часових визначень в супутникових радіонавігаційних системах / А. В. Рудик // Вісник Інженерної академії України. – 2016. – № 3. – С. 39-45.

## **СЕКЦІЯ 3**

**Вимірювальна техніка.  
Метрологія, стандартизація та  
сертифікація**

**TECHNICAL AND MEDICAL ASPECTS OF CORONAVIRUS DISEASE  
TREATMENT (2019-nCoV)**

**Beloshitsky P.V., Klyuchko O.M., Bilyk I.I., Beloshitsky A.S.**

NAU (Kyiv, Ukraine), P. G. Tychyny Uman State Pedagogical University (Uman, Ukraine), [kelenaxx@ukr.net](mailto:kelenaxx@ukr.net)

Contemporary reality is characterized by the intensive spread of global pandemia caused by virus SARS-CoV-2(2019-nCoV). Professionals who work in technique can be involved in the struggle with coronavirus disease through the invention of the new versions of medical devices and systems for the prevention of medical personnel and other population infection, patients' treatment and rehabilitation, and etc.

This publication aimed on the solution of medical and technical problems that appear during the equipping of medical centers with modern equipment.

We would like to start from the following technical and medical analogy: the coronavirus pandemic looks like as chain reaction of fission of uranium nuclei with neutrons, which can be slowed by the heavy water, graphite. In our case, such an effective retarder that prevents a catastrophic explosion is quarantine, which gives to medical equipment developers time to obtain licenses for new equipment and thus to prepare our medicine for effective treatment of patients.

It is known that coronavirus patients die from the complications of this disease: pulmonary edema, atelectasis, septic shock. severe pneumonia, distress syndrome, secondary bacterial infections, destructive changes in capillaries walls, pulmonary fibrosis, acute hypoxia (oxygen deficiency).

In these cases, cellular "power plants" - mitochondria – don't obtain their "fuel" – oxygen that damage dramatically the process of cellular respiration and leads to the separation of respiration and phosphorylation.

In the terminal stages, the organism suffers from the disturbances in the oxygen supply (its transport complicates) and its utilization (according to the "Elbrus" classification of hypoxic states [1], this is a mixed form of hypoxic states - respiratory, circulatory, regulatory, hemic, barrier hypoxia, as well as deoxidation (conditions in which with sufficient supply of oxygen to the tissues the bioenergetic. needs don't satisfied due to the damage of cell.mechanisms of its utilization).

How to provide the organism with oxygen in such conditions? Sure, in difficult cases (approximately 6%.of cases), the use of special devices for the intensive respiration (lungs ventilation) are used (apparatus for lungs ventilation). But other ways to help are possible too, and we observe them below.

Academician, Professor and Doctor M.M. Sirotinin and his students investigated these problems in c.Kyiv (Ukraine) and at the Elbrus Medical and Biological Station during long years [1, 2].

They investigated *not only destructive, but constructive mechanisms* of hypoxic conditions as well, which occur when the partial pressure of oxygen decreased in the

inhaled air, with the increase of oxygen demand due to the hypermetabolic processes, as well as under the action of extreme (including aerospace) factors, during many serious diseases, poisonings, and etc.

1. This allowed us for the first time in the world practice to discover, justify and implement a new highly effective method of treatment, prevention, resistance and efficiency - *hypoxotherapy*, which can be implemented with gradual adaptation to mountain conditions, in baric chambers (received patent №1731219 from 08.01.1992, priority of invention 24.11.1988,).

This patent was obtained on the method of increasing of organism non-specific resistance due to the hypoxic gas mixtures respiration using hypoxicators, normobaric chambers, simulators, which increase the adaptation to oxygen deficiency, respiratory muscle strength, lung volume; and they optimize, consequently, the oxygen utilization at the tissue level [3].

2. We would like to remind about the method of *enteral oxygen therapy* of Academician M. M. Sirotinin, which started its development in early 1960th. At first (in auto-experiments) there were discovered that oxygen penetrated in blood enough intensively through the stomach blood vessels that increased its content in plasma and organism tissues (this is especially important at lung pathology) [1].

Then the investigators studied for a long time different ways of medical oxygen injecting into the stomach; they stopped at oxygen cocktails, when they found that this "procedure" (eating the foam with a spoon, sucking it through a tube) helped to relieve the fatigue and increased organism resistance to various extreme factors, increased physical and mental work ability [1].

Currently, the oxygen cocktails are widely used in medicine for the treatment and prevention of various diseases. There were developed a large number of special devices for this - mixers, cocktailers, and etc.

3. In severe cases, when a mixed form of hypoxic state develops, the methods of *oxygen therapy* and *hyperbaric oxygenation* can save the lives too - with the help of oxygenators, oxygen concentrators, and hyperbaric chambers. With hyperbaric oxygenation at the pressure of 1-2 atm, the oxygen content in the blood plasma increases, and this provides the tissues with oxygen better.

Here we would like to remind about the skin breathing - it provides about 7% of the total amount of oxygen necessary for organism. But with the use of hyperbaric oxygen chamber this volume of skin respiration may be increased (and especially with excited oxygen) [4, 5].

It is known that high mountain conditions are characterized not only by hypoxybaria: during the ascent to the high altitudes the air physicochemical characteristics are changed as well as electromagnetic field strength, intensity of corpuscular fluxes, diapasons of solar (from infrared to ultraviolet) and ionizing

radiation (from Roentgen to  $\gamma$ -quanta), and etc. [1, 4, 5].

These environmental factors cause dissociation and ionization of oxygen molecules, increase the degree of their excitation. It is known that oxygen molecule, which has paramagnetic properties, behaves as free radical and its properties are in accordance with the state of excitation [1, 4-6].

So, we can expect that the transport of such "special" oxygen and its utilization by tissues will have their differences. They can be caused by other conditions of diffusion, solubility in water, binding with hemoglobin, penetration through the skin, and etc.

We cannot exclude the direct effect of electromagnetic fields on the hemoglobin molecule and on the system of moving erythrocytes, which is electrodynamically interacting charged particles that cause convection currents and magnetic fields.

We tried to simulate and to study the effect of these factors on organism in special barogazoclimato- chambers. However, these extremely important works were not finished due to the various reasons; despite the fact that the work was really important for the solution of aerospace problems as well as for the treatment of terminal conditions of organism [1]. Today it is a time to continue these works uniting the efforts of doctors and technical instruments developers.

### References

1. P.V. Beloshitsky. Chronicle of biomedical research in Ebrus region (1929 - 2006). Kiev:Ukrainian Academy of Sciences. 2014, 550 p. (In Russian)
2. Beloshitsky PV, Klyuchko OM, Onopchuk Yu.M. The results of Ukrainian scientists' researches in Elbrus region of the alpine factors influence on the health and longevity. Bulletin of NAU, 2008. - №4. - P.108-117 (In Ukrainian).
3. Beloshitsky P.V., Popov S.V., Slyn'ko P.P. Method for increasing of organism nonspecific resistance. Patent №1731219 January 8, 1992; application №4644709, priority of invention: November 24, 1988 (In Russian).
4. Beloshitsky P.V. Altitude environmental factors and aerobic metabolism. Physico-mathematical and biological problems of the action of electromagnetic fields and air ionization. M: Nauka. 1975, v.2. - P. 54- 57 (In Russian).
5. Beloshitsky P.V., Baraboy V.A., Krasnyuk A.N., Korkach V.I., Torbin V.F. Post-radiation rehabilitation in the conditions of mountain heights. Kiev, 1996. - 230 p. (In Russian)
6. Beloshitsky P.V. Problem of Complex Influences of hypoxybaria and Other Factors on Organism. High altitude medicine and biology: Mater.VI Word Congress on mountain medicine and high altitude physiology. (Beijing, China), 2004. – v.5. - P. 250.

## **INVESTIGATION OF ACUTE HYPOXIA AND HYPOXIC-HYPEROXIC ADAPTATION FOR THE DEVELOPMENT OF NOVEL DEVICES**

**Klyuchko O.M.**, Ph.D., Associate Professor of National Aviation University,  
**Gonchar O.A.**, Ph.D., A.A. Bogomoletz Institute of Physiology, National Academy of Sciences of Ukraine, e-mail: [kelenaXX@ukr.net](mailto:kelenaXX@ukr.net)

Developments of novel technical devices are really necessary in contemporary époque of global pandemia of coronaviral disease caused by SARS-CoV-2(2019-nCoV). It is known that acute hypoxia (oxygen deficiency in organism) can be resulted by lungs damages with viral infection. There is expected that thousand people will have lung disorders in result of coronaviral disease today. For their lungs health recovery we will need more perfected methods, devices and apparatus as well as new invented and developed their models.

Profound theoretical studies are need for such technical inventory and engineering work. One of such directions is the studying of mitochondrial thiol-disulfide system under the acute hypoxia and hypoxic-hyperoxic adaptation; and such results are suggested below. Experiments were done on mail Wistar rats with 230-250g body weight.

All manipulations with animals were carried out in accordance with the International Convention of animals and the Law of Ukraine “On protection of animals from cruelty”. Protocol N 2 (October 20, 2016) of the meeting of Bioethics Committee of the Educational and Scientific Centre “Institute of Biology and Medicine” Taras Shevchenko KNU.

It is known that repeated short exposures of hypoxia-reoxygenation in the process of intermittent hypoxia correspond to the state of "hypoxic preconditioning". Protective effect of it was registered by the number of authors in different tissues and it was considered as a form of adaptation to the next action of extreme factors – effects of infection diseases, ischemia, stress, physical loading [1, 2]. Many preconditioning methods (including ones with the use of technical devices) have been proposed for today.

These methods modulate mitochondrial respiration, ATP production, ion transport, and etc. However, the special attention is attracted to those approaches that limit the excessive intensification of free radical processes by activating the organism own endogenous defense systems, in particular such as interval hypoxic effects [3]. The particular interest is attracted now to the introduction of hyperoxic component in interval hypoxic training, which allows strengthening the free radical signals [3, 4]. It was shown that the use of hypoxic-hyperoxic training led to the formation of more pronounced protective effect enough quickly in the tissues of the liver, heart and brain compared with classical interval hypoxic-normoxic effects [1, 3, 4]. However, the mechanisms underlying the antioxidant protective effects of hypoxic-hyperoxic training in subcellular structures, particularly in mitochondria, have not been well studied yet.

The authors investigated the state of mitochondrial glutathione pool (reduced and oxidized glutathione, protein-GSH mixed disulfides), content of carbonyl groups and free sulfhydryl groups of proteins, protein expression of key mitochondrial antioxidant enzymes such as glutathione peroxidase and thioredoxin reductase as well as activity of glutathione reductase, glutathione peroxidase and glutaredoxin in the liver mitochondria of rats exposed to acute hypoxia after prolonged hypoxic-hyperoxic training. It was shown that the preliminary hypoxic-hyperoxic training reduced the intensity of proteins oxidative modification under acute hypoxia, activated the mitochondrial antioxidant defense as well as affected the thiol-disulfide exchange, redox balance in mitochondria, modulated the S-glutathionylation/deglutathionylation process in mitochondria membranes.

Obtained results indicate that the proposed hypoxic-hyperoxic training regimen helps to preserve the glutathione pool of mitochondria, activates and stimulates the protein synthesis of glutathione-dependent enzymes, reduces the intensity of processes of oxidized proteins modification during acute hypoxia, and has a positive effect on thioldisulfide metabolism in mitochondria. proteins). Interval trainings can influence on S-glutathione / deglutathionylation processes in mitochondrial membranes in response to changes in the GSH / GSSG ratio involving Grx2 and TrxR2. Thus, we have demonstrated that one of the leading cellular and molecular mechanisms of influence of hypoxic-hyperoxic training on the formation of adaptation to hypoxia may be their modulating role in redox reactions of thiol-disulfide system of mitochondria, which limits the development of oxidative damage to mitochondria and mitochondrial dysfunction during the subsequent action of stressors. We hope that obtained results can facilitate the development of new models of technical devices for patients' rehabilitation after the lung infection diseases, including SARS-CoV-2(2019-nCoV) with the recovery of patients' lungs functions.

### References

1. Sazontova TG, Anchishkina NA, Zhukova AG, Bedareva IV, Pylaeva EA, Kriventsova NA, Polianskaia AA, Iurasov AR, Arkhipenko IuV. Reactive oxygen species and redox-signaling during adaptation to changes of oxygen level. *Fiziol Zh.* 2008;54(2):18-32.
2. Gonchar O, Mankovska I. Antioxidant system in adaptation to intermittent hypoxia. *J Biol Sci.* 2010;10(6):545-554.
3. Sazontova TG, Arkhipenko YuV. In: Hypoxia problems: molecular, physiological and medical aspects. Scientific editors L.D. Lukyanova , I.B. Ushakov. M.: Nauka, 2004; p. 112-137.
4. Murphy M.P. Mitochondrial thiols in antioxidant protection and redox signaling: distinct roles for glutathionylation and other thiol modifications. *Antioxid Redox Signal.* 2012 Mar 15;16(6):476-95.

## **BIOTECHNICAL EXPERT SYSTEM FOR MONITORING OF HARMFUL CHEMICAL SUBSTANCES IN ENVIRONMENT**

**Klyuchko O.M.**, Ph.D., Associate Professor of National Aviation University

**Piatchanina T.V.**, Ph.D., RE Kavetsky Institute of Experimental Pathology,  
Oncology and Radiobiology National Academy of Sciences of Ukraine

**Datsko I.R.**, student of National Aviation University, e-mail: [kelenaXX@ukr.net](mailto:kelenaXX@ukr.net)

Modern expert systems started to be developed by researchers of artificial intelligence in 1970s, and in 1980s expert systems received commercial groundings. While expert systems technology has now existed for more than 30 years, expert systems for medicine, biology, environment protection are 15 years “younger” [1].

The purpose of our work was to carry out a deep investigations of prototypes of information expert systems, their structure, functions and practical applications, and to develop a new one for solving practical problems in biotechnology, laboratory practice, for oncology and environmental protection.

During the work following methods were used:

- methods of comparative research of the samples of technical devices;
- imitation and program modeling, which were based on numerical results obtained in experiments with the recording of chemosensitive transmembrane electrical currents in neurons in voltage clamp mode.

At result an original expert system (ES) was developed; it was coupled with detector group, databases and interface.

Developed ES was able to distinguish automatically between certain types of chemicals at the input; to display their identification data and, if necessary, reports about their harmfulness.

During our report there will be demonstrated that electronic biomedical expert systems might be powerful tools in contemporary biology and medicine [1]. We would like to make profound review of such information expert systems, their structure, functions and practical applications to give ones a possibility to develop new system types for specific biotechnological or research tasks solution.

We will discuss the abilities of electronic expert systems, their use as important type of modern electronic information systems. Further, the information about different prototypes of expert systems in biotechnology as well as in other biomedical spheres will be suggested.

The principles of expert systems' structure, electronic workplaces, as well as their functioning in biomedical electronic network information systems will be demonstrated.

Actual information about monitoring using electronic information systems with databases and expert capabilities in biology will be given. Biotechnical system with expert subsystem for monitoring of substances, harmful for living objects (for example, carcinogens) will be described.

Our developed original electronic information system for harmful substances (as well as substances-carcinogens) monitoring was called “EcoIS” (“Ecological information system”).

In framework of developed electronic information system the design of user interfaces (“Electronic work places - EWP”) were done.

Abovementioned electronic expert system and some of its few elements have been described already in publications in technical scientific literature and defended by patents [2-4].

The developed the simplest version of the expert system for monitoring and profound studying of different chemical substances’ influences on organism (chemical environmental pollutants, some of them are substances-carcinogens) also was described [2, 3].

The advantages of proposed expert system and method were achieved due to co-work of two in-built into “EcoIS” subsystems: subsystem 1 (expert) and subsystem 2 (specially developed biotechnical system (BTS) with variable biological fragments (BF)).

Due to the functional capabilities of both subsystems, it was possible to register changes in electrical transmembrane currents in BF (neuronal membranes) after the influence of chemicals on them, which may indicate a possible danger to living organism; the output monitor of electronic system then receives corresponding signal.

The analysis of the data obtained from BTS was carried out by comparing the data from the corresponding inner databases connected with the expert system. After such analysis by expert system the resultant report about the presence (or absence or otherwise) of danger to organism in zone with chemical substances were displayed on the monitor at the output of electronic information system. If necessary, an alarm signal (sound, flash-signal, others) is output also.

The use of BF as a detector and/or bioanalyser allows a significant increase of chemicals number in the list of substances, and among them it is possible to register such harmful and dangerous substances for humans, as some derivatives of phenols and / or indoles.

Technical results of developed expert system examination were following.

1. An original expert analytical system was developed, which determines the quantitative and qualitative components of the presence of toxic pollutants (phenol-

and indol- derivatives) in environment (industrial regions, other).

2. The use of developed electronic expert system permits to determine the presence of harmful and toxic substances in the environment and to send the signal-notification about their availability and quality.

3. It gives the possibility to monitor the effects of a large number of different chemicals much better, more efficiently, with higher accuracy than prototypes did.

4. BTS linked with the expert system allows analyzing the impact of a large number of substances of natural and artificial origin.

5. Results recordings in the form of digitized electrical signals (in local and network databases) in memory of network computers permits to visualize them, to process, to analyze, to output the data, and to transfer them using all advantages of network technologies.

6. The algorithm of expert system functioning, and corresponding software code were developed for this original expert analytical system.

Conclusions were done about the practical value of these data for the elaboration of new electronic expert systems for monitoring the presence of harmful substances (as well as substances-carcinogens) in the environment. The work done might be implemented in such branches as oncology, biotechnology, biophysics, ecology, ecological safety, pharmacology.

## References

1. Klyuchko O. M. Information and computer technologies in biology and medicine. Kyiv: NAU-druk. 2008, 252 p. (In Ukrainian).

2. Klyuchko O. M. Method of application of biotechnical monitoring system for bioindicators' accounting with biosensor and sub-system for optical registration. – Patent UA 129987 U, G01N33/00, C12Q 1/02, C12N 15/00. Priority: 27.04.2018, u201804662, Issued: 26.11.2018, Bull. 22, 11p. (In Ukrainian).

3. Klyuchko O. M., Biletsky A. Ya., Navrotskyi D. Method of application of biotechnical monitoring system with expert subsystem and biosensor. Patent UA 131863 U; G01N33/00, C12Q 1/02, C12N 15/00. Priority: 27.04.18, u201804663, Issued: 11.02.2019, Bull. 3, 7p. (In Ukrainian).

4. Klyuchko O.M.. Method for monitoring of chemicals influence on bioorganisms in few time intervals. Patent UA 134575 U; G01N33/00, C12N 15/00, A61P 39/00. Priority: 14.12.2018, u201812443, – Issued: 27.05.2019, Bull. 10, 10p. (In Ukrainian).

## **ELECTRONIC CHEMOSENSITIVE DETECTORS DEVELOPMENT FOR COMBUSTION PRODUCTS INDICATION**

**Navrotskyi D.A.**, Ph.D., Associate Professor of NAU, [navrotskyi@nau.edu.ua](mailto:navrotskyi@nau.edu.ua)

**Mykolushko A.N.**, Assistant Professor of NAU, [9shik@nau.edu.ua](mailto:9shik@nau.edu.ua)

**Lobach I.O.**, student of NAU, [lobacira17@gmail.com](mailto:lobacira17@gmail.com)

**Tyshchuk B.V.**, student of NAU

The development of detector devices for the registration of chemical environmental pollution is really necessary in contemporary reality. There is an urgent need to detect harmful chemicals in the environment in order to save our nature, as well as to preserve the life and health of people.

In industrial regions this situation is the most dangerous due to the fires and destruction of chemical polluted objects, in the regions influenced by Chernobyl accident, and etc. So, further development of electronic chemosensitive detectors for combustion products indication is an actual task nowadays. Such detectors may be a separate devices, as well as parts of devices already developed for the fire extinguishing information systems [1].

A necessary and essential subsystem of such detectors are their sensory elements: chemosensitive membranes (predominantly artificial), specific coverings and layers of substances that after the contact with certain environmental chemicals are able to form the signals about pollutants presence [1].

Studies aimed on the construction of devices for the detecting various environmental pollutants are based on a detailed study of membrane systems that simulate the main physicochemical properties of artificial and natural membranes, including their selectivity to ions; and such studies are becoming increasingly important.

The *purpose* of the work done was the development of devices for detecting of combustion chemicals released during fires and other emergencies.

Simulation of development of some devices related to fire extinguishing is really necessary in contemporary reality. If environmental pollution occurs as a result of fire with the release of chemicals harmful to living organisms, to successfully develop fire extinguishing algorithms, it is necessary to study, using methods of mathematical modeling, the processes of fire initiation and development in different protected areas in order to determine the optimal extinguishing tactics – the order of functioning of devices, modules and their groups.

This is especially necessary during a fire extinguishing and eliminating of other

consequences of accidents, catastrophes at large industrial enterprises and objects of energetic, when extinguishing algorithms have to be linked quickly with current state of the object.

The automated system that control the processes of extinguishing and liquidation of emergency situation have to work in real time, limited by the specifics of the controlled process and corresponding to the transition of the fire or emergency situation into an uncontrolled fire or techno gene disaster.

In any modern enterprise it is very important to ensure quick, effective and reliable extinguishing with strictly metered commissioning of extinguishing means and thereby ensuring the lowest possible changes of technological regimes.

The currently used automatic fire extinguishing systems based on traditional executive inertial devices and installations for supplying fire extinguishing compositions are not adapted to changes in the degree of fire hazard of the protected area, the intensity and scale of the fire. These systems extinguish equally regardless of the options for the occurrence of fires and fire development schemes [1].

The physical models of sensor elements for detectors of chemical substances – combustion products was developed basing on [2]. The analyzing unit for such systems was already developed by the authors earlier [1].

It allows to estimate objectively the scale of ignition from the indications of the sensors; and according to the information from automatic control system for an object or a technological process — the real degree of fire danger in the area where the fire occurred, and respectively development of the fire and to initiate the necessary for this case, incorporated in the control algorithm, the number of acting devices.

Reliability, speed of executive system initiation and reduction of probability of false actions can be achieved by following ways:

- increasing of the resistance of sensors to noises due to the spatial structure of the sensor network;
- their duplication or introduction of additional blocks for detecting of the false signals and noises from the fire;
- using of sensors that operate on logic schemes that confirm the reliability of the fire signal;
- the use of a centralized collection of information about the changes in parameters of the object or environment state;
- etc.

The scientific basis for such devices with sensor elements could be the set of works on the selective chemically sensitive surfaces of various types of glass, various samples of which have specific chemical sensitivity either by themselves or acting as

a substrate – the basis for covering them by the layers of some specific substances.

Previous studies have demonstrated that even for solving relatively simple tasks (for example, for the registration of current-voltage characteristics), one has to be faced real difficulties in studying of the selective membranes in living and artificial objects. These difficulties could be overcome in case if adequate physical and/or mathematical models are found.

An equally important task for such simulation is to establish the physicochemical nature of the phenomenon of the ionic selectivity of membranes either artificial or biological ones.

According to the studies of ionic selectivity of membranes in stationary conditions, it is also important a problem of modelling the transient processes that occur on them during contacts of the membranes with molecules of harmful chemicals.

Concerning this the attempts to model structural and functional disorders of artificial and cell membranes are also of great interest [2].

Both circles of these phenomena are closely interrelated and the consequences of their changes can be recorded in the experiment.

Obviously, the most interesting are the searches for model systems that, firstly, reveal high ionic selectivity and, secondly, are characterized by the following permeability sequences for ions that could be seen as characteristic ones of some artificial (protoplasmic) membranes.

The latter, in particular, refers to the so-called biological range of permeabilities of the surface membranes of cells at non-excited state for cations of alkali metals. Sometimes biosensors are seen as prospective ones for such purposes [1].

## References

1. V.M. Shutko, V.D. Zakhmatov, O.O. Kolganova, A.N. Mykolushko. "Theoretical bases for the development of chemosensitive detecting devices for environment protection" *Electronics and Control Systems* №3(61), 2019, pp. 68-73.
2. A.A. Lev, *Simulation of ionic selectivity of cell membranes*. Leningrad: Science. 1976, 210 p. (in Russian)

## **ELECTRONIC INFORMATION SYSTEM FOR THE FIRE PREVENTION WITH CHEMOSENSITIVE DETECTORS**

**Shutko V.N.**, Dr.Sci., Ph.D., Professor of NAU, [vnshutko@ukr.net](mailto:vnshutko@ukr.net)

**Zakhmatov V.D.**, Dr.Sci., Ph.D., Professor of State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, e-mail: [zet.pulse@gmail.com](mailto:zet.pulse@gmail.com)

**Kolganova O. O.**, Ph.D., Assistant Professor of NAU, [vnshutko@ukr.net](mailto:vnshutko@ukr.net)

Periodical great fires in different countries, other disasters caused by natural or antropogenic factors - such challenges have been faced all human in last years. Among them there were large-scale fires in Ukraine (Chernobyl and Polissya regions, April 2020), Australia (2019), regularly happened fires in the USA and Siberia (Russia). Large amounts of chemical substances were emanated in atmosphere during such disasters; a lot of them are harmful for the Nature in whole, and for the people and animals in particular. Urgent necessity of the Nature, our environment and human lives protection stimulated engineering creativity for new technical means invention and perfection.

The development of novel devices and systems are necessary now - robots, drones with chemo sensitive detectors, others; as well as information systems (ISs) [1] with detectors for the registration of chemical pollution of the environment. In our report the description of information system (IS) with chemo sensitive detectors is presented as well as theoretical bases for such detectors elaboration.

The report about the version of automated information system (AIS) was developed for the control of fire prevention and extinguishing system [1]. It is enough perfect, used in practice and has a number of facilities.

An attractive idea is to supplement such AIS with novel chemo sensitive detectors, forming AIS detector subsystem. The required AIS detector subsystem have to contain sensory elements for combustion products and other chemicals, for which the chemo-sensitive membranes, specific coatings and layers of substances have to be elaborated. Such detectors, being in contact with specific chemical substances, demonstrate chemo-sensitivity effects for various chemicals, including harmful substances emanated in fires. Contemporary investigations are focused now on detailed study of membrane systems simulating the basic physical and chemical properties of artificial and natural membranes, including their selectivity to various chemicals. In present report the theoretical bases for the development of such sensors with chemo-sensitive surface will be suggested [1].

*The aim of the work* was to describe developed electronic automated information system with detectors for the control of fires prevention and extinguishing system, and giving of theoretical bases for the elaboration of sensory elements for such system - detectors of chemical environmental pollutants, especially for combustion products and other ones emanated during fires and other emergencies.

*Description of suggested electronic information system for the control of fire prevention and extinguishing system.* The functional structure of fires extinguishing can

effectively use rapidly developing technology of electronic information systems [1]. Its structure can include several pulsed spray devices and automated information system (AIS) controlling their work with a network of sensors for the reveal of flame and smoke, as well as thermal imager (“teplovizors”) and video cameras.

These ISs with sensors can show, record and analyze the reliability of the data on current parameters of the fires, predict the trends in its further development based on data from the zone of fire surroundings. First of all, the factor of wind at the open space is important for such ISs operation as well as presence of ventilation in case of enclosed spaces (with directivity and strength of the air flows from this ventilation). Beside of this, the direction of fire development determines the presence of flammable substances and materials around it, primarily self-igniting ones. AIS can obtain these data from automated controlled system of the objects: production, warehouse, office, skyscraper, and etc. AIS have to analyze them to predict the development of large-scale Fire, fixing simultaneously the real process of its development.

The modular technology was used for the formation of algorithmic component of described AIS structure, taking into account its specifics. A set of three information and analytical modules of AIS was formed and tested as computer programs: the module for documentation on the organization of communication and management, the module for automated formation of communication organization schemes, the module for remote monitoring of fire state at protected object, and the module for commands generation to operate the system of pulse devices in various versions from one to the whole system simultaneously.

The system controls simultaneously the initiation and spraying parameters of extinguishing agents of their traditional technique, the system of pulsed spray devices, and at least one rescue unit during the fighting of large-scale fires. At the same time, the data on device parameters are recorded in the system’s memory - the type of fire extinguishing composition or compositions mixtures charged into these devices, and about the range and area of extinguishing.

The problem of control of tasks’ ranking in AIS have been formulated and analytically solved.

The algorithms and methodology for ordering in query of preference of control problems for practical implementation in described system were proposed by its developers [1].

Basing on the above described it is possible to predict further development and improvement of this AIS in terms of increasing of its adaptability to the use of simple pulse devices or complex multi-barrel modules for the fighting with large fires.

## References

1. V.M. Shutko, V.D. Zakhmatov, O.O. Kolganova, A.N. Mykolushko. “Theoretical bases for the development of chemosensitive detecting devices for environment protection” *Electronics and Control Systems*” №3(61), 2019, pp. 68-73.

## АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НАДАННЯ МЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ

**Безвершнюк К.О.**, асистент, НАУ, bezvershniuk@nau.edu.ua

**Чувпенюк Т.С.**, студент, НАУ

На даний час рівень смертності дітей віком до одного року в Україні залишається удвічі вищим (7,9%), ніж у країнах Європейського Союзу, при цьому частина немовлят, які, за критерієм Всесвітньої організації охорони здоров'я, вважаються померлими на першому тижні життя, при розрахунку коефіцієнтів смертності немовлят в Україні не враховуються, тому реальний розрив відповідних показників в нашій державі та країнах ЄС більший, ніж це засвідчує статистика. У структурі загальної смертності немовлят у 2019 р., як і в попередні роки, I місце посіли окремі стани, що виникають у перинатальному періоді, (52,14%), II місце – природжені вади розвитку, деформації та хромосомні аномалії (24,51%), III місце – зовнішні причини захворюваності та смертності (5,7%).

Задача підвищення якості надання медичної допомоги є найбільш вагомою серед задач, які постають перед системою управління медичним закладом. Важливим елементом системи підвищення якості являється системи аудиту медичного закладу і забезпечення необхідного рівня якості технічного стану медичного обладнання. Визначення параметрів, як складових системи якості медичного закладу є важливим завданням, але у його вирішенні відсутні формалізовані підходи.[1]

Для вирішення даного завдання пропонується використання експертного оцінювання. В якості прикладу обраний інкубатор (рис.1) для новонароджених дітей для якого завдання забезпечення якісного рівня функціонування є не тільки пріоритетом надання якісних послуг, а і заходами, що пов'язані з безпекою дітей.



Рис. 1. Інкубатор для новонароджених

Інкубатор для новонароджених допомагає лікувати й виходжувати немовлят з критично низькою вагою та важливими життєвими показниками. Апарат забезпечує оптимальні кліматичні умови, необхідні для умов життя,

зменшує небезпеку інфекції, сприяє лікуванню й швидкому розвитку дитини. Інкубатор для новонароджених забезпечує необхідну для дитини постійну температуру, вологість повітря й концентрацію кисню в необхідних межах.

У процесі роботи було побудовано діаграму Ішікави, яка дозволила визначити сукупність факторів, що впливають на технічний стан інкубатора, та які необхідно враховувати при експлуатації інкубаторів у процесі надання професійної допомоги новонародженим.

Запропонована методика оцінювання рішень експертів в області неонатології є корисною з точки зору зменшення похибок першого та другого роду при прийнятті експертного рішення. Зібрані на основі методики статистичні данні дозволили визначити вагу кожного чинника впливу а саме: температура у кюветі; вологість у кюветі; концентрація кисню у кюветі та інші. Також були розраховані ваги факторів, що пов'язані з трудовим ресурсом, як кваліфікацією медичних робітників, стаж їхньої роботи так і з наявністю та кваліфікацією біомедичних інженерів в даній медичній установі.

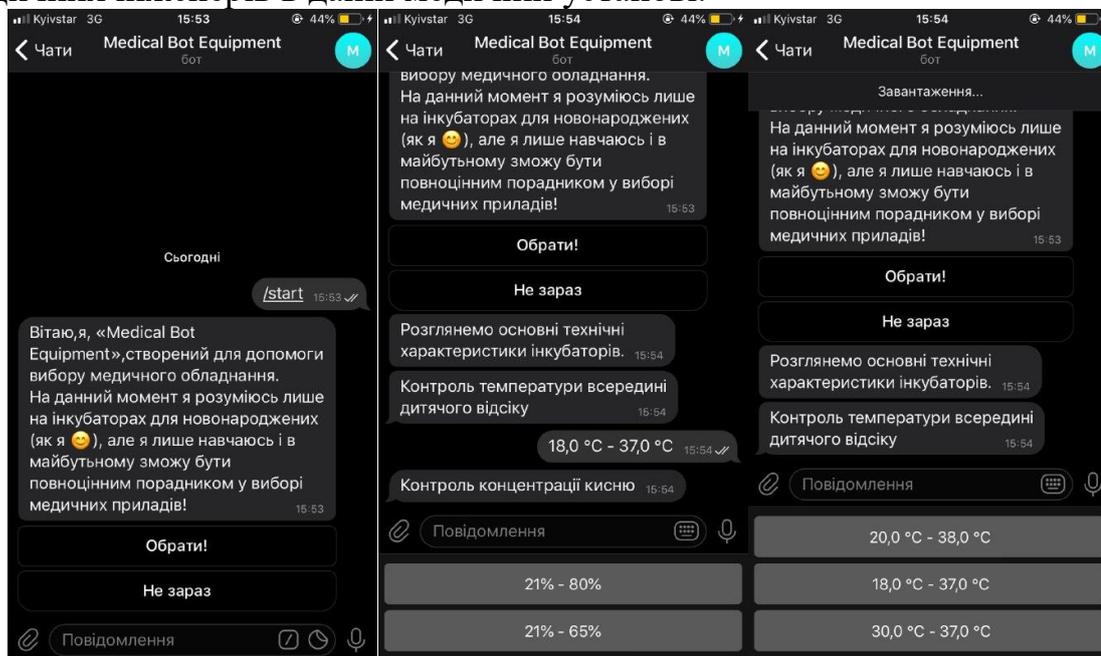


Рис.2. Інтерфейс роботи вікна розробленої експертної системи на платформі «ActiveChat».

На основі запропонованої методики розроблена експертна система на базі інтернет платформи «ActiveChat» (рис.2), для зменшення похибок першого та другого роду при прийнятті рішення щодо якості експлуатації медичного обладнання та підвищення безпеки проведення реанімаційних заходів.

### Література

1. Про затвердження Концепції управління якістю медичної допомоги у галузі охорони здоров'я в Україні. Наказ МОЗ України від 01.08.2011№454./ [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://www.moz.gov.ua/ua/portal/dn\\_20110801\\_454.html](http://www.moz.gov.ua/ua/portal/dn_20110801_454.html).

**ІНДУКТИВНІ ІНКРЕМЕНТНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ  
ЛІНІЙНИХ ВЕЛИЧИН**

**Безвесільна О.М.**, д.т.н., професор, НТУ України «КПІ ім.І.Сікорського»,  
[o.bezvesilna@gmail.com](mailto:o.bezvesilna@gmail.com)

**Котляр С.С.**, к.т.н., НТУ України «КПІ ім.І.Сікорського», [s.tkachenko@kpi.ua](mailto:s.tkachenko@kpi.ua)

З середини минулого століття для лінійних вимірювань застосовують механічні головки або індикатори, пневматичні і індуктивні прилади. В процесі їх експлуатації були виявлені обмеження застосування приладів на зазначених принципах дії – нелінійність характеристик, що в свою чергу при збільшенні діапазону вимірювання значно збільшувала похибку вимірювання, тому діапазон вимірювань залишався обмеженим [1]. Такі прилади використовувались тільки для порівняльних (відносних) вимірювань з налаштуванням за зразком або кінцевій мірі довжини. Розвиток техніки вимагав збільшення діапазону вимірювань і застосування абсолютних вимірювань.

Пізніше було розроблено інкрементні перетворювачі, або енкодери, які вимірюють невеликі прирости вимірюваної координати при переміщенні вимірювача (звідси їх назва, increment – приріст), і підсумовують їх, отримуючи величину переміщення. Перевага таких перетворювачів принципова відсутність нелінійності характеристики і необмежені діапазони вимірювання [2, 3].

Принцип дії енкодерів розробили задовго, проте точність була недостатньою для лінійних вимірювань у зв'язку з недостатнім розвитком електроніки. Значний вплив на точність, якість і габаритні розміри чинила відсутність нових матеріалів. Розробці сучасних енкодерів сприяв розвиток координатних вимірювань (наприклад, координатно-вимірювальних машин) і поява верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ), а також розвиток мікроелектроніки, інформаційно-обчислювальної техніки і поява нових технологій виробництва. Сучасні інкрементні перетворювачі мають дуже високу точність і дуже великі діапазони вимірювань (до декількох метрів) [2, 3].

У вимірювальній техніці і на верстатах з ЧПУ на даний час випускають і широко застосовують декілька типів лінійних і кутових енкодерів, одні з найпоширеніших - індуктивні. Індуктивні енкодери мають лінійність лише 0,2% від кроку  $T$ , проте вони доволі чутливі до впливу паразитних ємностей.

У більшості випадках для точних вимірювань ручного мобільного переносного електронного інструменту (мікрометри, штангенциркулі, індикатори) застосовують ємкісні і індуктивні енкодери. Саме поява і випуск надійних лінійних і кутових енкодерів сприяли розвитку верстатів з ЧПУ, КВМ і багатьох приладів для координатних вимірювань, дозволяючи забезпечити повну автоматизацію роботи верстата або приладу.

Індуктивні енкодери (рис. 1) вигідно відрізняються невеликою потужністю, що споживається для зчитування інформації зі шкали приладу. Тому індуктивні енкодери найбільш зручні для застосування у вимірювальних

системах з жорсткими обмеженнями на споживану потужність. Їх широко використовують в ручному вимірювальному інструменті з цифровим відліком і компактними елементами живлення.

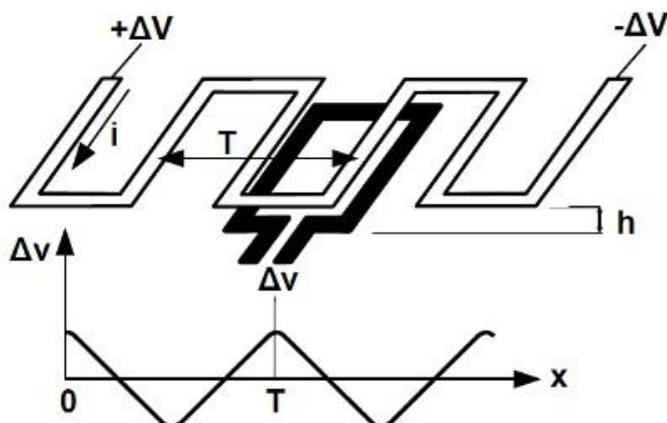


Рис. 1. Спрощена схема індуктивного енкодера

де  $\Delta v$  – змінна напруга, що подається і знімається з електродів перетворювача;

$T$  – крок, період змінної напруги;

$h$  – відстань між електродами.

Індуктивний енкодер складається з шкали (лінійки) і зчитуючого пристрою, який переміщається над шкалою з невеликим зазором  $h$ . Шкала, схожа на сходи, складається з серії замкнутих петель, розташованих з кроком  $T$ , струми яких направлені зустрічно. На зчитуючому пристрої на двох сторонах плати нанесена послідовність з трьох плоских зигзагоподібних основних обмоток, що чергуються, і трьох зигзагоподібних знімних обмоток почерзі з кроком  $H$ . Дві плоскі зигзагоподібні обмотки взаємодіють через рухому петлю.

### Література

1. Безвесільна О.М. Технологічні вимірювання та прилади. Перетворюючі пристрої приладів та комп'ютеризованих систем: підруч. для студ. приладобуд. спец. вищ. навч. закл. / О. М. Безвесільна, Ю. О. Подчашинський; Житомирський держ. технологічний ун-т. - Житомир : ЖДТУ, 2006. - 560 с.: рис. - Бібліогр.: с. 552-558. - ISBN 966-683-085-X.

2. Костюк А.Ф. Датчики в современных измерениях / А.Ф. Костюк. – М.: Радио и связь, Горячая линия – Телеком, 2006. – 96 с., ил. – ISBN 5-256-01782-6.

3. Джексон Р.Г. Новейшии датчики / Р.Г. Джексон. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с. ISBN 978-5-94836-111-6.

## ВИМІРЮВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ЗБУРЮЮЧИХ ПРИСКОРЕНЬ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ

Безвесільна О.М., д.т.н., проф., НТУ України «КПІ ім.І.Сікорського»,  
[o.bezvesilna@gmail.com](mailto:o.bezvesilna@gmail.com)

Мельниченко М.А., студент, НТУ України «КПІ ім.І.Сікорського»  
 Чепюк Л.О., к.т.н., Державний університет «Житомирська політехніка»,  
[traveller2762@gmail.com](mailto:traveller2762@gmail.com)

Горизонтальні збурюючі прискорення на рухомих об'єктах можна реєструвати не тільки за допомогою гіровертикалі, встановленої на підвісі Кардана, але і за допомогою горизонтальних акселерометрів, встановлених на гіроплатформі, зокрема, за допомогою струнних акселерометрів [1,4]. Один з варіантів конструкції горизонтального струнного акселерометра з рідинним демпфуванням вантажу представлений на рис. 1.

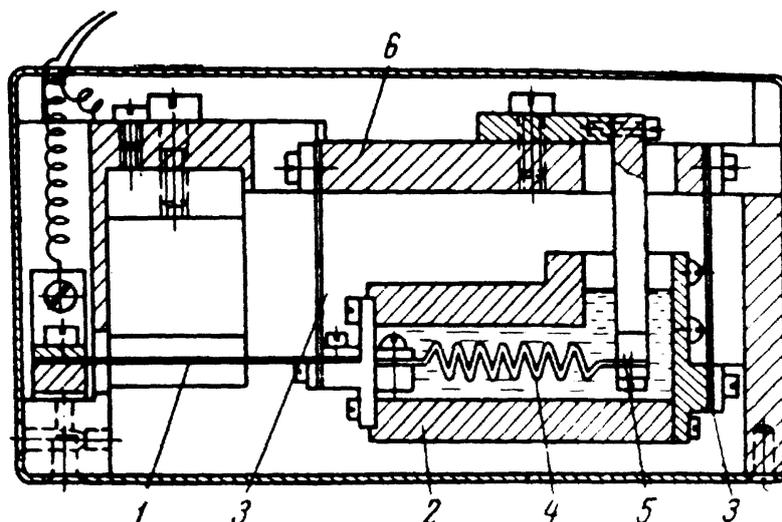


Рис 1. Горизонтальний струнний акселерометр з рідинним демпфуванням вантажу

Горизонтальна вібруюча струна натягнута між рамою 6 і вантажем 2, має один ступінь свободи уздовж струни. Вертикальні і поперечні горизонтальні переміщення вантажу запобігають за допомогою двох тонких паралельних пружин 3, рухомі кінці яких прикріплені до вантажу з обох боків. Первинний натяг струни задається за допомогою гвинтової пружини 4, розміщеною усередині вантажу і сполученою з ним одним своїм кінцем. Інший кінець пружини через пластину 5 кріпиться до рами 6. Для послаблення впливу прискорень вібрацій виконується демпфування вантажу. В даній конструкції застосоване рідинне демпфування за допомогою поліметилсилоксанової рідини ПМС-0,3\*106. Рідиною заповнена порожнина вантажу, а демпферною пластинкою служить відросток 5 рами, до якого кріпиться пружина [2].

Рідина ПМС-0,3\*106 також виконує демпфування коливань гвинтової пружини. Якщо акселерометр встановлено горизонтально і він нерухомий (тобто відсутні горизонтальні прискорення), то частота коливань струни  $f_{r0} = K\sqrt{P}$ , де  $K$  – постійний коефіцієнт, залежний від параметрів струни;  $P$  – натягнення пружини.

При нахилі приладу на кут  $\alpha$  і наявності горизонтальних прискорень, діючих уздовж струни [3]

$$f_r = K\sqrt{P + Mg \sin \alpha + M \ddot{x}} = f_{r0} \sqrt{1 + \frac{Mg}{P} \sin \alpha + \frac{M \ddot{x}}{P}}.$$

Якщо кут нахилу  $\alpha$  і величина збурюючих прискорень  $\ddot{x}$  малі в порівнянні з первинним натягом, тобто

$$\frac{Mg}{P} \sin \alpha + \frac{M \ddot{x}}{P} \ll 1, \text{ тоді} \quad f_r \approx f_{r0} \left[ 1 + \frac{1}{2} \frac{M}{P} (g \alpha + \ddot{x}) \right]$$

$$\text{або позначивши } \frac{2P}{M} = C_{fx} \text{ одержуємо } \Delta f_r = f_r - f_{r0} = \frac{1}{C_{fx}} (g \alpha + \ddot{x}).$$

Коли акселерометр встановлений на горизонтальній гіроплатформі ( $\alpha=0$ ), зміна частоти його сигналу виходу буде пропорційна компоненті  $\ddot{x}$  горизонтального прискорення, діючого уздовж його осі чутливості [2].

Усереднене абсолютне значення прискорення

$$\left| \ddot{x} \right|^{(\Theta)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \ddot{x}_i \right| = C_{fx} \frac{1}{\Theta} \int_t^{t+\Theta} |\Delta f_r| dt.$$

Число зареєстрованих за допомогою лічильника імпульсів частоти биття за період  $\Theta$  буде шуканою величиною  $\int_t^{t+\Theta} |\Delta f_r| dt$  і поправка  $\delta g_r$  за вплив горизонтального прискорення буде рівною [2]:

$$\delta \cdot g_r = \delta \cdot g_{rx} + \delta \cdot g_{ry} = -\frac{1}{2g} \left( \left| \ddot{x} \right|^2 + \left| \ddot{y} \right|^2 \right) = -\frac{1}{2g\Theta^2} \left[ C_{fx}^2 \left( \int_t^{t+\Theta} |\Delta f_x| dt \right) + C_{fy}^2 \left( \int_t^{t+\Theta} |\Delta f_y| dt \right) \right].$$

## Література

1. Безвесільна О.М. Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри: Монографія/ Безвесільна О.М.– Житомир: ЖДТУ, 2007. – 604 с.
2. Лозинская, А. М. Измерение силы тяжести на борту самолета [Текст]/ А. М. Лозинская. – М. : ВИЭМС, 1978. – 70 с.
3. Лозинская, А. М. Аэрогравиметрическая аппаратура на базе струнных датчиков [Текст]/А. М. Лозинская, З. И. Фомина, И. Л. Яшаев // Прикладная геофизика. – М., 1973. – С. 175–186.
4. Безвесільна О.М., Чепук Л.О. Вібраційний чутливий елемент приладового комплексу. Монографія. – НПО «Пріоритети» Київ, 2018. – Київ: 235 с.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЗМЕНШЕННЯ ДИСКРЕТНОСТІ КВАНТУВАННЯ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ КІЛЬЦЕВОГО ЛАЗЕРА

**Безвесільна О.М.**, д.т.н, проф., НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[o.bezvesilna@gmail.com](mailto:o.bezvesilna@gmail.com)

**Морозов А.В.**, к.т.н., доц., Державний університет «Житомирська політехніка»,  
[morozov@ztu.edu.ua](mailto:morozov@ztu.edu.ua)

Інформація про кутову швидкість кільцевого лазера закладена у різницю частот випромінювань, що циркулюють назустріч одне одному. На оптичному виході кільцевого лазера ця інформація перетворюється у переміщення інтерференційних смуг або обертання площини поляризації випромінювань [1].

Оптична інформація перетворюється фотоприймачем в електричні сигнали. При цьому інформація закладена у фазу цих сигналів. Для перетворення таких сигналів у числову форму, необхідно виконати операцію їх квантування по фазі. Така операція може проводитись різними засобами з урахуванням задач вимірювань і характеристик сигналу.

Вимірювання кутів за допомогою гоніометрів проводиться при відносно стабільній кутовій швидкості. Внаслідок цього, нестабільність частоти сигналу на виході лазерного гіроскопа не перевищує 5 % при частоті декілька сотень кілогерц. Відношення сигнал/шум — не менше 20. Відхилення від синусоїдальної форми (викривлення) не перевищує 5 %. У тому разі, коли на виході одержують два сигнали (синус-косинус), відхилення зсуву фаз від 90 град, не перевищує 10 %. Такі характеристики сигналу сприятливі для застосування широкого кола пристроїв квантування.

Перетворення сигналу кільцевого лазера у числовий код відбувається шляхом інтегрування частоти цього сигналу за інтервал виміру, який задається імпульсами автоколіматора (рис. 1). Такі перетворення проводять за допомогою лічильника, який підраховує за інтервал виміру  $T_0$  (рис. 1 б) число імпульсів, сформованих із сигналу кільцевого лазера (рис. 1 а). У найбільш простому випадку із кожного періоду сигналу кільцевого лазера формується один імпульс. При цьому похибка перетворювання буде розподілена по закону Сімпсона із середнім квадратичним відхиленням [1]  $\sigma = 1/\sqrt{6}$ . Наразі актуальною є задача підвищення точності.

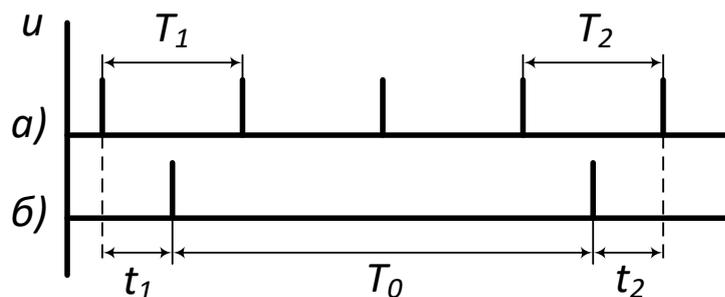


Рис. 1. Вимірювання з урахуванням частин періодів

Підвищення точності може реалізовуватись двома методами: точним вимірюванням частин періодів або зменшенням ціни періоду сигналу кільцевого лазера, наприклад, за рахунок множення його частоти.

При точному вимірюванні частин періодів необхідно визначити час  $t_1, T_1, t_2, T_2$  (рис. 1). Вимірне значення буде дорівнювати:  $N = N_1 - \frac{t_1}{T_1} + \frac{T_2 - t_2}{T_2}$ , де  $N_1$  – ціле число імпульсів, які пораховані за інтервал вимірювання  $T_0$ .

Перевагою такої реалізації є те, що в ній може бути забезпечена висока частота при вимірюванні інтервалів  $t_1, T_1, t_2, T_2$ , а значить буде забезпечена і висока точність вимірювання.

До недоліків слід віднести апаратурні і програмні ускладнення, так як потрібно збільшити кількість лічильників, забезпечити приймання та обробку 5 чисел на одне вимірювання.

Тому представляють інтерес пристрої, в яких інформація за один інтервал вимірювання видається у вигляді одного числа. У цьому випадку, для зменшення похибки вимірювання необхідно зменшувати ціну періоду сигналу кільцевого лазера шляхом зменшення дискретності квантування.

Зменшення дискретності квантування сигналу кільцевого лазера може бути реалізоване за рахунок використання його багатофазного сигналу. Зважаючи на те, що інформація у кільцевих лазерах видається у вигляді переміщення смуг інтерференційної картини або обертання площини поляризації, установка декількох вузлів з фотоприймачами дозволяє одержати багатофазну систему сигналів з рівномірним фазовим зсувом. Із цих сигналів, наприклад, при перевищенні заданого порогу, формують імпульси, які потім об'єднують в один канал. Це дозволяє зменшити дискретність квантування пропорційно кількості фаз.

Зазвичай на виході кільцевого лазера одержують *sin-cos* сигнали. Не представляє труднощів одержати чотирифазну систему електричних сигналів із зсувом фаз через кожні  $45^\circ$ . Це дозволяє у чотири рази зменшити дискретність квантування. З використанням *sin-cos* сигналів за рахунок їх відповідної аналогової обробки можливо отримати систему багатофазних сигналів. Для цього можуть використовуватись потенціометричні фазообертачі [2].

На рис. 2 приведений один із потенціометричних фазообертачів. До двох генераторів  $E_1$  і  $E_2$ , сигнали яких мають фазовий зсув  $90^\circ$ , підключені резистори  $R_1$  і  $R_2$ .

Амплітуда і фаза сигналу, який знімається з такого дільника, буде дорівнювати:  $U = E\sqrt{1 - 2a(1 - a)}$ ,  $\phi = \text{arctg} \frac{a}{1 - a}$ , де  $a = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$ .

Змінюючи співвідношення  $R_1/R_2$ , можна змінювати фазовий зсув від 0 до  $90^\circ$ . Використовуючи ланцюжок резисторів з різним співвідношенням  $R_1/R_2$ , можна одержати систему сигналів  $U_1, U_2 \dots U_n$ , які разом з сигналами  $E_1, E_2$  представляють багатофазну систему сигналів, яку можна використовувати для зменшення дискретності квантування. Для того, щоб одержати багатофазну систему з більшою кількістю сигналів, використовують, окрім сигналів  $E_1$  і  $E_2$ ,

протифазні сигнали  $-E_1, -E_2$ . Використовуються схеми як з паралельним, так і з послідовним з'єднанням резисторів. На рис. 3 приведена схема з послідовним з'єднанням резисторів, яка забезпечує одержання 16-фазної системи сигналів. Такі пристрої працюють у широкому діапазоні частот і використовуються в якості інтерполяторів в растрових перетворювачах лінійних та кутових переміщень. Інтерполятори випускаються промисловістю у вигляді мікросхем.

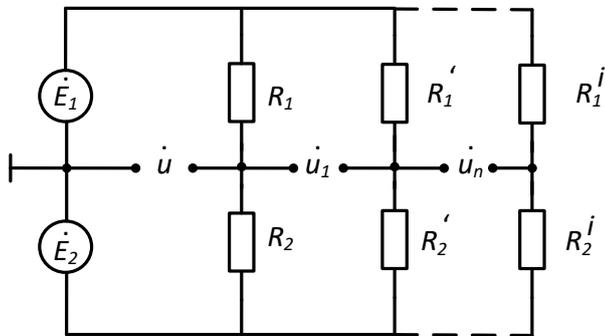


Рис. 2. Потенціометричний фазообертач

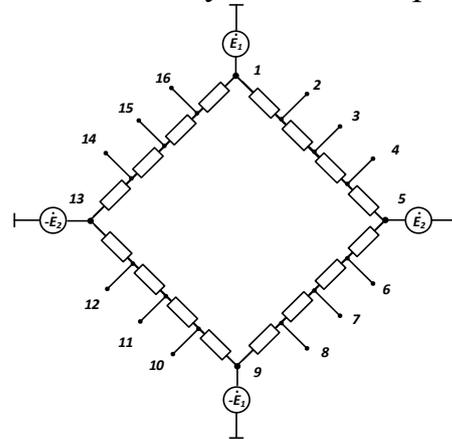


Рис. 3. Фазообертач з послідовним з'єднанням резисторів

Для багатьох практичних випадків представляє інтерес використання помножувачів частоти. Помножувачі частоти можуть бути побудовані з використанням системи фазової автопідстройки частоти (ФАПЧ) [3].

За допомогою фазового детектора проводиться порівняння фаз сигналів і на виході детектора одержуємо постійну напругу, пропорційну різниці фаз. Цей сигнал проходить низькочастотний фільтр і подається на керуючі входи керованого напругою генератора. Частота на виході генератора дорівнює:  $f_{вих} = n \cdot f_{вх}$ . Цей сигнал ділиться дільником з коефіцієнтом поділу  $n$ . Тому на фазовому детекторі зрівнюються фази двох рівних по частоті сигналів. Зміна фази вхідного сигналу приводить до зміни частоти на виході керованого генератора напруги. Сигнал на виході керованого генератора напруги може бути як у вигляді синусоїди, так і у вигляді імпульсів.

Проведені дослідження методів та засобів зменшення дискретності квантування сигналу кільцевого лазера, описані у цій роботі, підтвердили перспективність і доцільність їх використання.

### Література

1. О.М. Безвесільна Автоматизований прецизійний пристрій для вимірювання кутів: Монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – 217 с.
2. Гитис Є.И. "Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств", М-Л, 1961, с, 164-167.  
Преснухин Л.Н., Шаньгин В.Ф., Майоров С.А. й др. "Фотоэлектрические преобразователи информации", М., "Машиностроение", 1974, с. 183-201.

## ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ВИМІРІВ ВІБРАЦІЙНОГО ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ

Безвесільна О.М., д.т.н., проф., НТУ України «КПІ ім.І.Сікорського»,  
[o.bezvesilna@gmail.com](mailto:o.bezvesilna@gmail.com)

Нечай С.О., к.т.н., НТУ України «КПІ ім.І.Сікорського», [nechay\\_s@ukr.net](mailto:nechay_s@ukr.net)

Чепюк Л.О., к.т.н., Державний університет «Житомирська політехніка»,  
[traveller2762@gmail.com](mailto:traveller2762@gmail.com)

В якості вібраційного чутливого елемента системи стабілізації розглянемо ідеальну гнучку струну кінцевої довжини  $l$ , жорстко закріплену з обох кінців, що має нескінченно малу амплітуду коливань [1-3].

Будемо вважати, що в процесі коливань струни сила її поздовжнього натягу  $F$  постійна і не залежить від амплітуди. Вважаючи, що струна коливається в площині креслення (рис. 1, а), виділимо елемент струни довжиною  $dx$  і масою  $dm$  (рис. 1, б) [4].

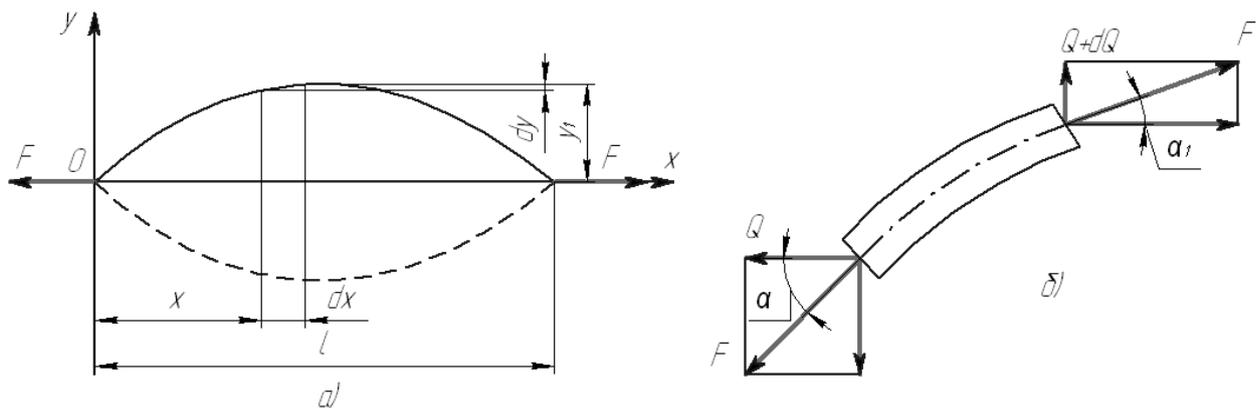


Рис.1. Схема струни, що коливається з жорстко закріпленими кінцями

Проекції сил натягу на кінцях елемента струни на вісь  $oy$  дають вертикальні складові

$$Q = -F \sin \alpha ,$$

$$Q + dQ = F \sin \alpha_1 ,$$

Зважаючи на малість кутів  $\alpha$  і  $\alpha_1$  можна прийняти

$$\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dx} ;$$

$$\sin \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dx .$$

Сума сил  $Q$  і  $Q+dQ$  повинна врівноважуватися інерційною силою, що дорівнює добутку маси виділеного елемента  $dm$  на його прискорення  $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$ , тобто

$$dm \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = F \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dx.$$

Оскільки передбачається, що струна однорідна, то

$$dm = \frac{m_c}{l} dx,$$

де  $m_c$  – маса струни.

Тоді диференціальне рівняння руху струни можна записати у вигляді

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{Fl}{m_c} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

або

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2},$$

де

$$a^2 = \frac{Fl}{m_c} \quad (1)$$

Щоб розв'язати рівняння, тобто знайти значення  $y$  у функції двох змінних  $x$  і  $t$  у вигляді

$$y = \varphi(x, t)$$

задамося граничними умовами на кінцях струни, які очевидні з фізичних міркувань і рис. 1, а: при  $x = 0$  і  $x = l$   $y = 0$ .

Задамо початкові умови при  $t = 0$

$$y = \varphi(x, 0)$$

З урахуванням граничних та початкових умов спільне рішення рівняння (1) можна представити у формі

$$y = C_n \sin \frac{n\pi}{l} x \cos \frac{an\pi}{l} (t - \tau_n) \quad (2)$$

де  $C_n$ ,  $\tau_n$  – постійні;  $n$  – ціле число, що характеризує номер гармоніки коливань, звідки період коливань струни

$$T_n = \frac{2\pi}{an\pi/l} = \frac{2l}{an},$$

а частота коливань

$$f_n = \frac{1}{T_n} = \frac{an}{2l}.$$

З урахуванням того, що  $a^2 = Fl/m_c$ , частота поперечних коливань струни

$$f_n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{Fl}{m_c}} = \frac{n}{2} \sqrt{\frac{F}{m_c l}} = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}, \quad (3)$$

де  $\sigma$  – напруга розтягу в струні,  $\rho$  – щільність матеріалу струни.

Як правило, в більшості випадків у струнних перетворювачах використовується збудження коливань струни на першій гармоніці, тобто  $n = 1$ . Значно рідше  $n = 2$ . Збудження коливань струн на більш високих гармоніках практично не використовується.

Оскільки в загальному випадку коливання струни являють собою сукупність коливань різних частот, що накладаються один на одного, то для

забезпечення збудження коливань тільки на певній гармоніці необхідно передбачити створення певних початкових умов.

Даний висновок зроблений без урахування поперечної жорсткості струни. При співвідношеннях товщини струни  $h$  до її довжини  $l$  більше 300–500 вираз (3) цілком придатний для інженерних розрахунків характеристик і параметрів струнних перетворювачів.

Однак при розрахунку перетворювачів підвищеної точності або при  $h/l \ll 300$  необхідно враховувати вплив поперечної жорсткості струни.

У цьому випадку власну частоту поперечних коливань струни з жорстким закладенням кінців, що коливається на першій гармоніці, можна визначити так:

$$f = f_0 \sqrt{1 + kF}, \quad (4)$$

де

$$f_0 = \frac{h}{2\pi d^2} \sqrt{\frac{6048E}{\rho}}, \quad (5)$$
$$k = \frac{1}{42} \frac{l^2}{EJ},$$

де  $h$ ,  $l$  – товщина і довжина струни;  $F$ ,  $\rho$  – модуль гнучкості і густина матеріалу струни;  $J$  – момент інерції поперечного перерізу струни.

Сутність струнного методу вимірювання полягає в тому що будь-яка фізична величина, що вимірюється, безпосередньо або через ланцюг попередніх проміжних перетворювачів, зводиться до зміни сили натягу струни, що викликає зміну частоти її власних поперечних коливань [5].

Природною вхідною величиною струнного чутливого елемента системи стабілізації є поздовжня сила, а вихідною – частота.

## Література

1. Безвесільна О.М. Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри: Монографія/ Безвесільна О.М. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – 604 с.
2. Безвесільна О.М., Маляров С.П., Цірук В.Г., Таланчук П.М., Чепюк Л.О. Наукові-основи побудови прецизійного чутливого елемента комплексу стабілізатора озброєння легкої броньованої техніки. Монографія. – Житомир: ЖДТУ, 2016. – 234 С.
3. Безвесільна О.М., Чепюк Л.О. Вібраційний чутливий елемент приладового комплексу. Монографія. – НПО «Пріоритети» Київ, 2018. – Київ: 235 с.
4. Проектирование датчиков для измерения механических величин /Под ред. Е.П. Осадчего. – М.: Машиностроение, 1979. – 480 с.
5. Карцев Е.А., Коротков В.П. Унифицированные струнные измерительные преобразователи. – М.:Машиностроение, 1982.

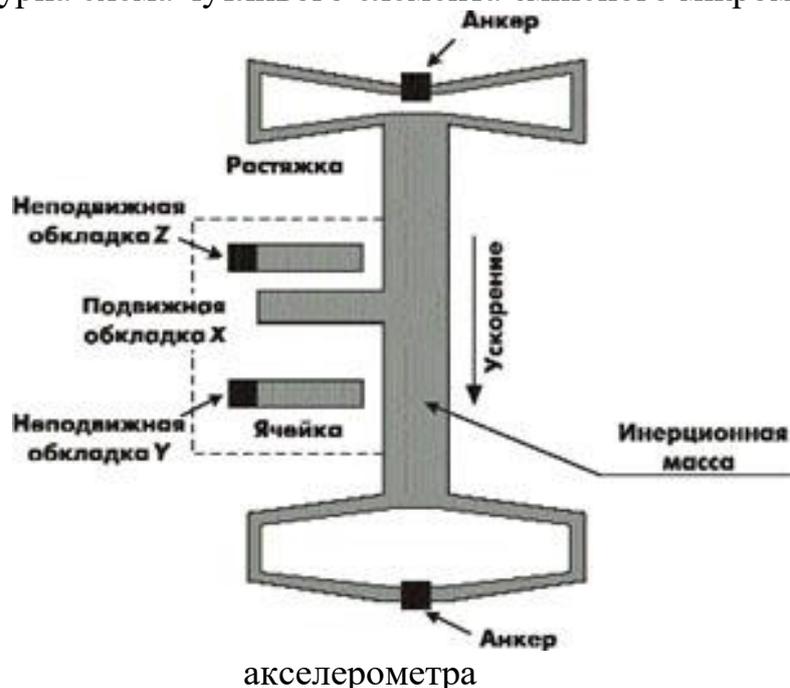
## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЄМНІСНОГО МІКРОМЕХАНІЧНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

**Граняк В.Ф.**, к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет,  
[titanxp2000@ukr.net](mailto:titanxp2000@ukr.net)

**Кухарчук В.В.**, д.т.н., професор, Вінницький національний технічний  
університет, [VKuch@ukr.net](mailto:VKuch@ukr.net);

Чутливий елемент мікромеханічного ємнісного акселерометра умовно подають у вигляді структурної схеми, наведеної на рис. 1. Він являє собою диференціальну конденсаторну структуру з повітряним діелектриком. Електроди конденсатора вирізані з плоского куска полі-кремнієвої плівки товщиною порядку 2 мкм. Нерухомими електродами цього конденсатора є прості консольні стержні, що розташовані на висоті порядку 1,3 мкм від поверхні кристала в повітрі на полікремнієвих стовпчиках-анкерах, що приварені до кристала на молекулярному рівні. У конструкцію сенсора входить більше 50 таких чутливих елементів (елементарних комірок). Інерційна маса сенсора прискорення під час прискореного руху сенсора зміщується відносно іншої частини кристала. Її пальцеподібні виступи утворюють рухомий електрод конденсатора. Обидві сторони цієї структури опираються на стовпчики-анкери. Розтяжки, що утримують інерційну масу, виконують роль механічної пружини постійної пружності, що обмежує переміщення маси і забезпечує її повернення у вихідне положення. Зміщення рухомої частини відносно нерухомої призводить до зміни ємності кожної з елементарних комірок ємнісного мікромеханічного акселерометра, що відповідає первинному вимірювальному перетворенню типу «прискорення в ємність» [1].

Рис. 1 – Структурна схема чутливого елемента ємнісного мікромеханічного



Так як примусова складова загального зміщення рухомої частини сенсора обумовлена виключно зовнішнім впливом, то при відсутності (зкомпенсованості) проекції гравітаційної складової на вимірювальну вісь, що вносить додаткову адитивну складову похибки у вихідний сигнал ємнісного мікромеханічного сенсора [2], може бути визначена як:

$$X_{np}(t) = \frac{m}{k} \varepsilon(t). \quad (1)$$

У свою чергу власна складова зміщення рухомої частини сенсора обумовлена наявністю механічної системи «пружний маятник». Тож при дії постійного  $i$ -го збурення вона може бути описана виразом [3]:

$$\frac{d^2 X_{ei}(t)}{dt^2} + \frac{P}{m} \frac{dX_{ei}(t)}{dt} + \frac{k}{m} \cdot X_{ei}(t) = 0, \quad (2)$$

де  $P$  – коефіцієнт опору переміщенню рухомої частини;  $X_{ei}(t)$  – зміщення рухомої частини сенсора відносно положення рівноваги від  $i$ -го збурення.

Тоді загальне зміщення рухомої частини сенсора відносно нерухомої при дії постійного  $i$ -го збурення описуватиметься наступним неоднорідним диференціальним рівнянням 2-го порядку:

$$\frac{d^2 X_i(t)}{dt^2} + \frac{P}{m} \frac{dX_i(t)}{dt} + \frac{k}{m} \cdot X_i(t) + \frac{m}{k} \varepsilon_i = 0. \quad (3)$$

В цьому випадку швидкість рухомої частини сенсора описуватиметься виразом:

$$v_{ei}(t) = \frac{dX_{ei}(t)}{dt} = \omega_0 e^{-\xi\omega_0 t} (B_i \cos(\omega_0 t) + A_i \sin(\omega_0 t)) - \xi\omega_0 e^{-\xi\omega_0 t} (A_i \cos(\omega_0 t) + B_i \sin(\omega_0 t)) \quad (4)$$

Розрахувавши сталі інтегрування, отримаємо:

$$\begin{cases} A \approx -10^{-9}, \\ B \approx -7,91 \cdot 10^{-10}. \end{cases} \quad (5)$$

Виконавши математичні підстановки отримаємо перехідну характеристику ємнісного мікромеханічного сенсора ADXL320.

Графічна інтерпретація цієї динамічної метрологічної характеристики наведена на рис. 2.

З урахуванням вторинного перетворення отримаємо функцію зміни напруги на виході сенсора:

$$U(t) = \beta \cdot \gamma \cdot X(t). \quad (6)$$

Або виконавши підстановку:

$$U(t) = \frac{\beta \cdot \gamma \cdot m}{k} (\varepsilon(t) + \Delta_{\delta}(t)) = \frac{\beta \cdot \gamma \cdot m}{k} \varepsilon(t) + \frac{\beta \cdot \gamma \cdot m}{k} \Delta_{\delta}(t), \quad (7)$$

де  $\varepsilon(t)$  – вимірюване значення прискорення;  $\Delta_{\delta}(t)$  – динамічна похибка, що виникає в наслідок власного зміщенням рухомої частини сенсора відносно нерухомої, обумовлений її інерційністю.

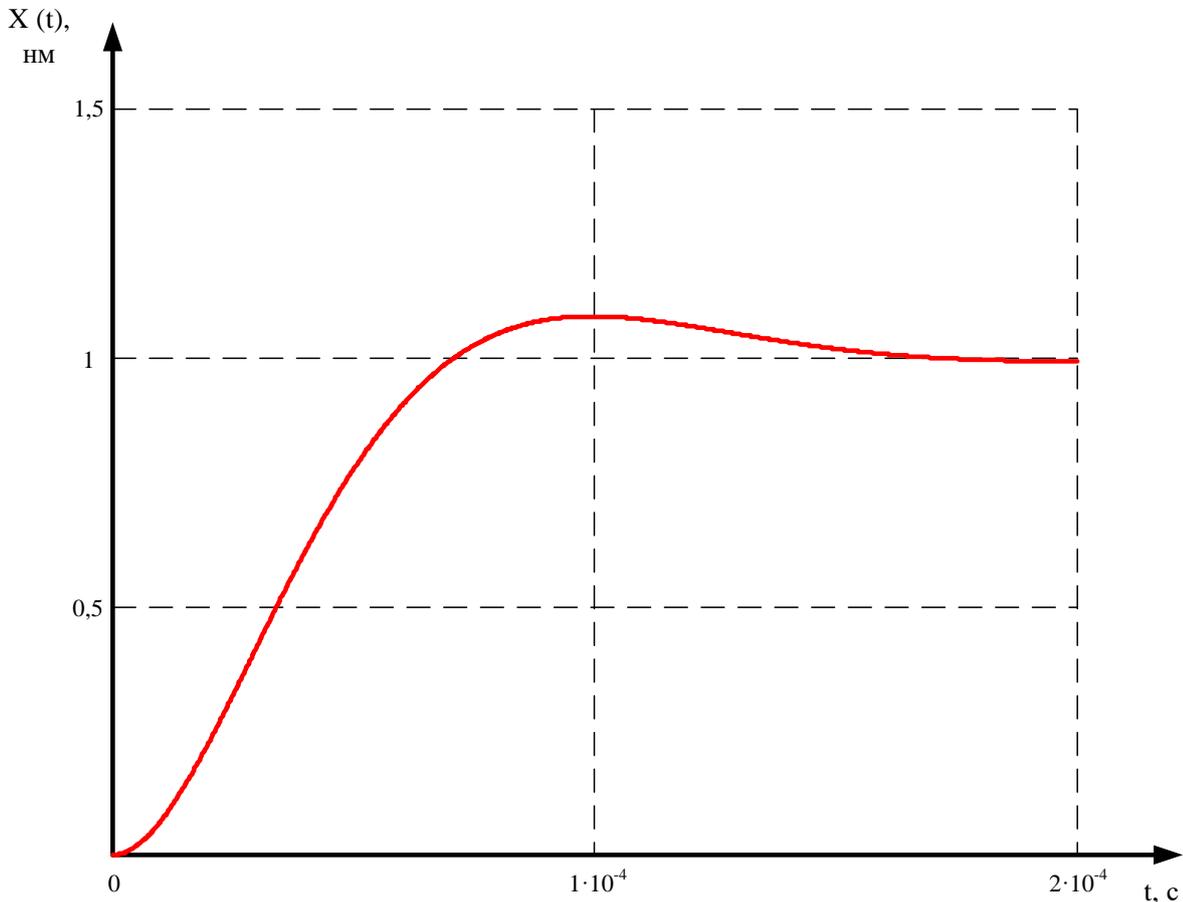


Рис. 2 – Перехідна характеристика ємнісного мікромеханічного акселерометра ADXL320

### Література

1. В. В. Кухарчук Вимірювання параметрів обертального руху електромеханічних перетворювачів енергії в перехідних режимах роботи: монографія / В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький, В. Ф. Граняк. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 152 с.

2. Hraniak V. F. Correlation method for calculation of weight coefficients of artificial neural-like networking hydraulic units' diagnostic systems / V. F. Hraniak, V.V. Kukharchuk, V. V. Bilichenko and other // Proceeding of SPIE. Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry and High-Energy Physics Experiments – 2019 – No. 11176 – 7 p.

3. Щеглова И. Ю. Моделирование колебательных процессов (на примере физических задач) / И. Ю. Щеглова, А. А. Богуславский – Коломна: Коломенский государственный педагогический институт, 2009. – 130 с.

## ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КАНАЛ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ РОТОРНИХ МАШИН

Довгань В.В., к.т.н., ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ», [dovgan\\_csm@ukr.net](mailto:dovgan_csm@ukr.net)  
Орнатський Д.П., д.т.н., Національний авіаційний університет, [ivs@nau.edu.ua](mailto:ivs@nau.edu.ua)  
Нікітенко Д.В., ДП «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ»

### Вступ

Проблемою діагностування підшипників кочення є виникнення паразитних інтермодуляційних коливань, які ускладнюють вирішення задачі достовірного діагностування [1] та збільшують час аналізу вібраційних сигналів. Відомо, що найбільш ефективним типом визначення середньоквадратичних значень вібраційних сигналів є так звані детектори істинних середньоквадратичних значень (СКЗ) [2]. При цьому час аналізу визначається найнижчою частотою суміші вхідних сигналів. Тому їх безпосереднє застосування для аналізу вібраційних сигналів підшипникових частот в такому випадку буде збільшувати час аналізу. Для усунення цього недоліку була розроблена структурна схема системи для аналізу вібраційних сигналів підшипників кочення.

### *Моделювання квадратурного детектора СКЗ.*

Особливістю схеми є квадратурний детектор СКЗ, який підключений до виходу  $N$ -канального квадратурного слідкуючого режекторного фільтра [3, 4]. В доповіді представлені результати моделювання такого детектора на рисунку 1, з можливістю корекції інструментальних похибок основних компонентів детектора.

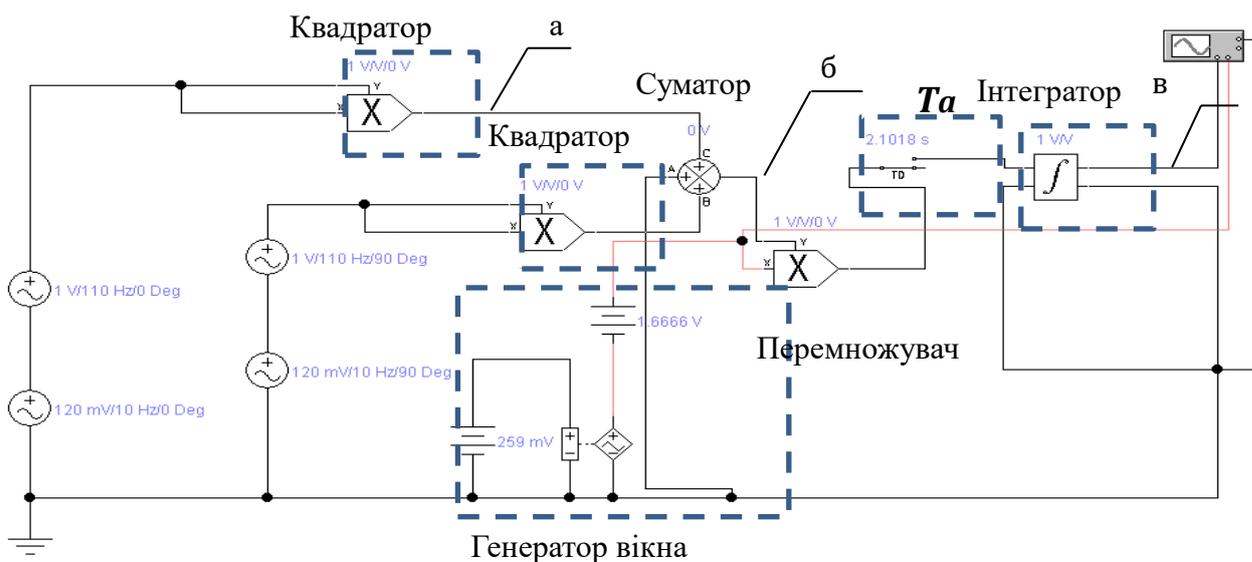


Рис. 2. Квадратурний детектор середньоквадратичних значень

При виконанні умови комбінованого режиму роботи системи виникають інфранизькочастотні биття внаслідок «паразитної» амплітудної модуляції. При

цьому частота цих коливань може бути значно менша за частоту основної роторної гармоніки [5]. Усереднення такої суміші потребує значного часу інтегрування. З метою зменшення цього явища було запропоновано схему квадратурного детектора СКЗ, яка дозволяє позбутися інтермодуляційних ефектів.

В результаті моделювання було отримано часові діаграми сигналів квадратурного детектора СКЗ і представлені на рисунку 2.

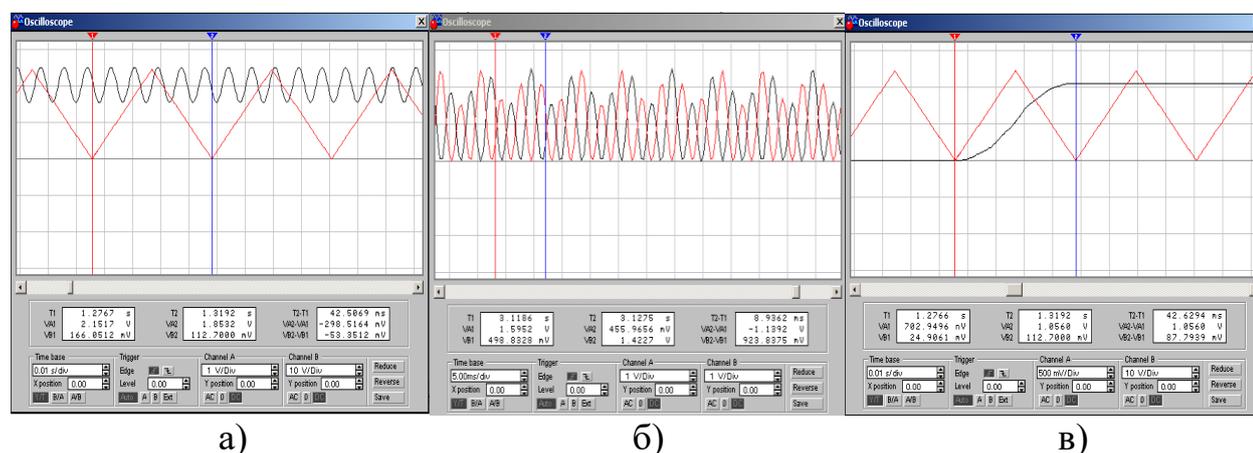


Рис. 2. Вихідна напруга квадратора (а), суматора (б), інтегратора (в)

Виходячи з цих діаграм можна відзначити, що пульсації на виході суматора містять лише високочастотну складову у той час як низькочастотна пульсація відсутня. Це дає змогу суттєво зменшити час аналізу, при використанні функції вікна типу Ханна, для отримання співвідношення сигнал/шум краще за 40 дБ, тому достатньо вибрати час аналізу рівним трьом періодам високочастотної пульсації, що в 5 разів краще по відношенню до сучасних систем контролю параметрів вібрацій.

## Література

1. Азовцев А.Ю., Барков А.В. Повышение точности оценки состояния подшипника качения. Санкт-Петербург, Россия и Картер Д.Л. Боулдер, штат Колорадо.
2. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М.: Издательство «Мир», 1971. – 408 с.
3. Орнатський Д.П., Довгань В.В, Квасніков В.П., Нікітенко Д.В. Розробка аналогового інтерфейсу для вібраційної діагностики підшипникових вузлів з покращеними метрологічними характеристиками. Вісник Інженерної академії України. – 2018. – №3. – С. 163-166.
4. Dovhan V., Kvasnikov V., Ornatskiy, D. Development of the system for vibration diagnosis of bearing assemblies using an analog interface. Eastern-European Journal of enterprise technologies. – 2018. – №5/9(95). – P. 51-59.
5. Карасев В.А. Максимов В.П., Сидоренко М.К. Вибрационная диагностика газотурбинных двигателей. М.: Издательство «Машиностроение» 1978. – 129 с.

# МОДЕРНІЗАЦІЯ ФОТОМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ РУХОМОЇ ЗД МОДЕЛІ

Доставалов В.В. аспірант, НАУ, [holdthepigeon@gmail.com](mailto:holdthepigeon@gmail.com),  
науковий керівник: Орнатський Д. П.

*Анотація* — пропонується модернізація фотограмметричного методу, для отримання рухомої ЗД моделі шляхом побудови нового алгоритму обробки фото, нового алгоритму процесу зйомки, та побудови технічного комплексу з використанням високошвидкісних камер.

*Ключові слова* – фотометрія, сканування, ЗД модель, камери, створення рухомої ЗД моделі, фотосканування, модернізація процесу сканування, ЗД об'єкти, високошвидкісні камери, ключові кадри.

## I. Вступ

Перш за все треба розібрати, що потрібно для побудови ЗД моделі фотограмметричним методом, та як саме він працює. Фотограмметричний метод базується на тому, що, як правило, об'єкт що сканується, фотографується однією камерою с з різних ракурсів, з процентом перекриття поверхні не менш ніж 10-30% (в залежності від розміру об'єкта).

При цьому об'єкт має бути статичним, а камера повинна рухатися по колу на одному рівні по осі X, та зі зміщенням по осі Y, рекомендується робити як мінімум три кола, по осі Y.

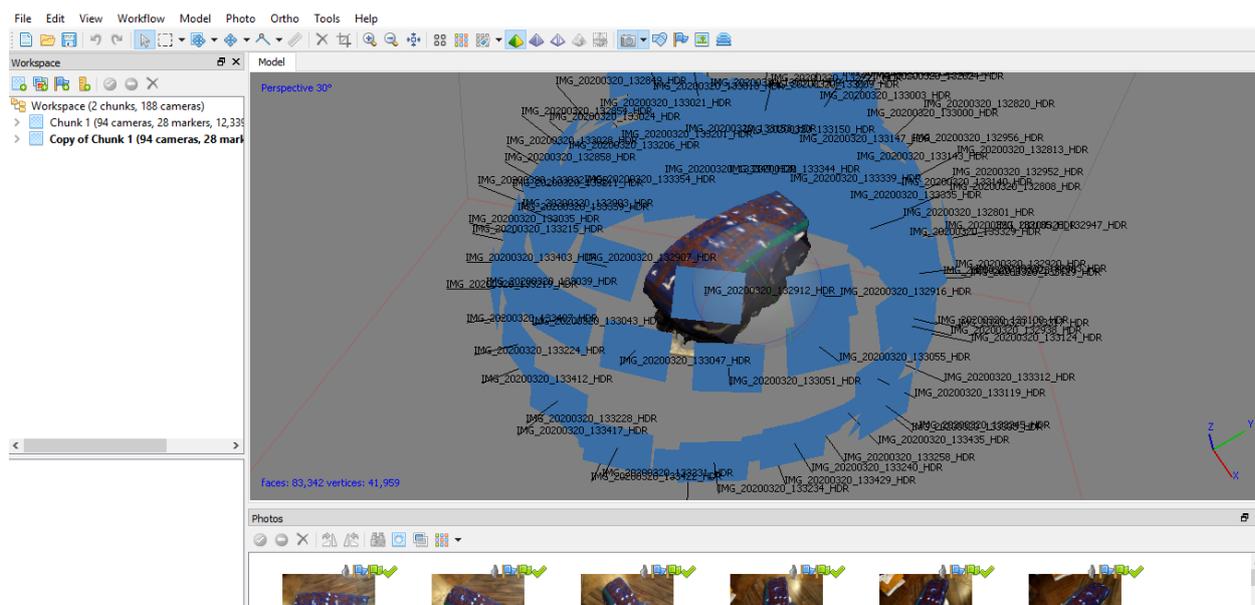


Рис.1 Приклад розташування камер для подальшої побудови ЗД моделі

Початковими даними для алгоритму сегментації є набір знімків  $I_0, I_1, I_{1a}$  або  $I_2, I_{1b}$ , у котрих розглядаються точки, які належать об'єкту що сканується. Конфігурація з п'яти джерел світла дозволяє реалізовувати перевірку по кожній осі на наявність відхилення від дифузійної моделі відображення. Три знімки  $I_0, I_1, I_{1a}$  або  $I_0, I_2, I_{1b}$ , у випадку відсутності затемнення мають бути залежні, виходячи з цього, одне зображення можна виразити через два інших:

$$I_1 + I_{1a} = 2 \cos \varepsilon I_0.$$

## II. Основна частина

Для побудови рухомої моделі нам треба змінити цей алгоритм роботи. Перш за все, ми змінимо процес отримання знімків: нам знадобиться як мінімум 12 правильно розташованих, статичних камер, що працюють одночасно (порівняно з однією у звичайному методі).

Це потрібно через те, що нам необхідно робити усі знімки рухомого об'єкта з різних ракурсів з заданим процентом перекриття одночасно, в іншому ж випадку буде неможливо зіставити усі фото в один проміжок часу для побудови 3Д моделі.

Другим етапом буде додавання в програмний алгоритм зіставлення фото змінної часу -  $t$ . У нас є мінімально необхідний набір кадрів  $K_1-K_{12}$ , що відповідають номерам камер у момент часу  $t_0$  – що відповідає початку руху об'єкта. Кожному наступному набору одночасно знятих ключових кадрів присвоюється момент часу  $t_i$  до завершення руху об'єкта що сканується.

Таким чином ми отримаємо ключові кадри, які містять інформацію про всі параметри анімації. З їх допомогою ми зможемо імпортувати отримані моделі у програми обробки 3Д об'єктів, такі як 3DsMax, де вже є шкала анімації, за допомогою якої можна буде розглянути наш скан як безперервний потік 3Д відео, та працювати з ним у кожний заданий нами момент часу.

## III. Проблематика

Після опису методики перейдемо до проблематики. Зазвичай, камери знімають зі швидкістю 24-29 кадрів за секунду. Проблема у тому, що при такій частоті кадрів буде неможливо побудувати 3Д скан через змазування знімків. Саме тому, доведеться використовувати високошвидкісні камери.

В залежності від швидкості руху об'єкта що сканується (рух шестерні у годиннику – 60 обертів за хвилину, або ж рух валу двигуна 6000 обертів за хвилину), треба вибрати підходящий тип камер.

Сучасні цифрові високошвидкісні камери, які використовуються в медіа-та мовної індустрії, зазвичай оснащені одним сенсором КМОП розміром близько 4 мегапікселів, на основі шаблону Байера.

Швидкість системи зазвичай визначається величиною, що представляє собою максимальну пропускну здатність даних, з якою система може впоратися.

Найбільш складні системи в медіаіндустрії обробляють дані зі швидкістю близько 5-6 гігапікселів в секунду.

Це означає, що камери можуть знімати зі швидкістю близько 2500 к / с при дозволі  $1920 \times 1080$ . Зараз технологія вийшла на такий рівень, що при високій роздільній здатності можна робити від 10 000 до 20 000 кадрів в секунду, що дозволить робити скани майже будь-яких рухомих об'єктів.

Іншою ж проблемою 3Д сканування рухомих об'єктів є те, що нам потрібно буде робити мінімум 24 скани об'єкту для побудови ряду для однієї секунди.

А, приймаючи до уваги, що процес обробки фото для одного скана на комп'ютері середньої потужності займає не менше години, це буде вимагати неймовірно багато часу, та потужностей.

### **Висновок**

У даній роботі було представлено передовий, реалізуємий метод сканування рухомого об'єкту фотограмметричним методом, розглянуто особливості його роботи, та зроблено висновок, що в даній момент це перспективний метод, який, можливо, потребує невеликих доопрацювань.

Зосередившись на проблемах та запитах сучасного сканування було представлено рішення декількох проблем методом комбінацій і впроваджень технічних рішень. Розроблено замкнутий комплекс для проведення сканувань на основі минулих напрацювань. Дані рішення, в свою чергу також мають свої недоліки, такі як велика ресурсозатратність, та дорожнєва.

### **Література**

1. Булатов М.І., Калінкін І.П. Практичний посібник з фотометричним методам аналізу -5-е вид., Перераб Л .: Хімія, 1986. - 432 с.
2. Красильников М.М. Красильникова О. І. Дослідження похібок визначення координат та глиб іні при 3Д скануванні методом, Заснований на дифузно віддзеркаленні світла // Інформаційно-керуючі системи. 2012. № (58). С.2-8.
3. Кузнецов В.А. Прогнозування помилки вічислення орієнтації поверхні, обумовленої квантуванням, для методу тривимірного сканування, заснованого на дифузному віддзеркаленні світла // Наукова сесія ГУАП: зб. доп. В 3ч. Ч.1. Технічні науки. СПб.: ГУАП, 2013. С.89-91
4. Solomon F., Ikeuchi K. Extracting the Shape and Roughness of Specular Lobe Objects Using Four Light Photometric Stereo || IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. Apr. 1996. Vol 18. p.449-454

Катаєва М.О., к.т.н., ст.викл, НАУ, [kataeva.mariia@gmail.com](mailto:kataeva.mariia@gmail.com)

Юрчук А.О., к.т.н., доц., НАУ

Основною проблемою, яка виникає при проведенні тривимірних вимірювань за допомогою СЗМ є відсутність встановленого зв'язку між горизонтальним і вертикальним кроками датчика при обході поверхні нанооб'єкту. Запропонована фізична модель процесу вимірювання полягає в тому, що мікроскоп відображає висоту поверхні в ортогональному растровому малюнку. Доведено, що виправлені координати  $r_{p.v.j}(X_{p.v.}, Y_{p.v.} \text{ і } Z_{p.v.})$  є однозначними значеннями функції спостережуваних координат та параметрів навколишнього середовища. Модельна функція  $X_{p.v.}, Y_{p.v.} \text{ і } Z_{p.v.}$  є нелінійною функцією вхідних величин а має наступний вигляд

$$\begin{aligned} X_{p.v.} &= X_{p.v.}(X_{o.v.}, Y_{o.v.}, Z_{o.v.}, T, H), & Y_{p.v.} &= Y_{p.v.}(X_{o.v.}, Y_{o.v.}, Z_{o.v.}, T, H), \\ Z_{p.v.} &= Z_{p.v.}(X_{o.v.}, Y_{o.v.}, Z_{o.v.}, T, H). \end{aligned} \quad (1)$$

Калібрування вздовж трьох метричних осей  $X_{p.v.}=X_{p.v.}(X_{o.v.}), Y_{p.v.}=Y_{p.v.}(Y_{o.v.})$  і  $Z_{p.v.}=Z_{p.v.}(Z_{o.v.})$ , включаючи нелінійну корекцію, отримується на основі заданого технічною документацією розміру вертикального та горизонтального кроку датчика. Вплив середовища та змін у часі систематичної похибки включаються до оцінки невизначеності та визначаються за допомогою критерію Аббе тобто  $X_{p.v.}=X_{p.v.}(T, H, \dots)$ . Зв'язок між рухом  $X_{p.v.}$  і  $Y_{p.v.}$ , тобто  $Y_{p.v.}=Y_{p.v.}(X_{o.v.}, Y_{o.v.})$ , розглядався за допомогою двовимірної решітки з відомим кутом. Зв'язок між  $Z_{p.v.}=Z_{p.v.}(X_{o.v.}^2, Z_{p.v.})$  і  $Z_{p.v.}=Z_{p.v.}(Y_{o.v.}^2, Z_{p.v.})$  встановлюється за допомогою плоскої опорної площини, однак зв'язок між вертикальним і горизонтальним рухом, тобто  $Z_{p.v.}=Z_{p.v.}(X^2, Z_{p.v.})$  і  $Z_{p.v.}=Z_{p.v.}(Y_{p.v.}^2, Z_{p.v.})$  лишається невизначеним. Розглянемо це питання більш детально. Одиничні вектори в системі координат мікроскопа ( $\underline{f}_{X_{o.v.}}, \underline{f}_{Y_{o.v.}}, \underline{f}_{Z_{o.v.}}$ ) - це напрямки та відстані, якими рухається датчик для зміни індикації однієї одиниці довжини в напрямку швидкого сканування,  $\underline{f}_{X_{o.v.}}$ , у напрямку повільного сканування  $\underline{f}_{Y_{o.v.}}$ , та напрямку висоти  $\underline{f}_{Z_{o.v.}}$ . Метрична система координат ( $\underline{f}_{X_{p.v.}}, \underline{f}_{Y_{p.v.}}, \underline{f}_{Z_{p.v.}}$ ) - це ортогональна система координат, де довжина трьох одиничних векторів виражається через одиницю SI помножену на довжину. Елементи матриці  $\underline{m}_{X_{p.v.}Z_{o.v.}}$  і  $\underline{m}_{Z_{p.v.}Z_{o.v.}}$  - це проекція  $\underline{f}_{Z_{o.v.}}$  на площину, що охоплюється  $\underline{f}_{X_{p.v.}}$  і  $\underline{f}_{X_{p.v.}}$ . Елементи матриці  $\underline{m}_{Y_{p.v.}Z_{o.v.}}$  - це проекція  $\underline{f}_{Z_{o.v.}}$  на площину, що охоплюється  $\underline{f}_{Y_{p.v.}}$  та  $\underline{f}_{X_{p.v.}}$ . Елементи матриці  $\underline{m}_{X_{p.v.}Z_{o.v.}}$  і  $\underline{m}_{Z_{p.v.}Z_{o.v.}}$  є координатами проекції  $\underline{e}_{Z_{o.v.}}$  на площину, що охоплюється проекціями  $\underline{f}_{X_{p.v.}}$  та  $\underline{f}_{Z_{p.v.}}$ . Аналогічно, матричні елементи  $\underline{m}_{Y_{p.v.}Z_{o.v.}}$  та  $\underline{m}_{Z_{p.v.}Z_{o.v.}}$

є координатами проекції  $\underline{f}_{Z_{o.e.}}$  на площину, що охоплюється  $\underline{f}_{Y_{p.e.}}$  та  $\underline{f}_{Z_{p.e.}}$ .

Ігноруючи вплив середовища, лінійне перетворення між спостережуваними положеннями  $r_{o.e.}=(X_{o.e.}, Y_{o.e.}, Z_{o.e.})$  та еквівалентними значеннями в метричній системі координат є

$$\begin{pmatrix} X_{p.e.} \\ Y_{p.e.} \\ Z_{p.e.} \end{pmatrix} \cong \begin{pmatrix} \left. \frac{\partial X_{p.e.}}{\partial X_{o.e.}} \right|_{r_{o.e.}=(0,0,0)} & \left. \frac{\partial Y_{p.e.}}{\partial X_{o.e.}} \right|_{r_{o.e.}=(0,0,0)} & \left. \frac{\partial Z_{p.e.}}{\partial X_{o.e.}} \right|_{r_{o.e.}=(0,0,0)} \\ 0 & \left. \frac{\partial X_{p.e.}}{\partial Y_{o.e.}} \right|_{r_{o.e.}=(0,0,0)} & \left. \frac{\partial Z_{p.e.}}{\partial Y_{o.e.}} \right|_{r_{o.e.}=(0,0,0)} \\ 0 & 0 & \left. \frac{\partial Z_{p.e.}}{\partial Z_{o.e.}} \right|_{r_{o.e.}=(0,0,0)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{o.e.} \\ Y_{o.e.} \\ Z_{o.e.} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{X_{p.e.}X_{o.e.}} & C_{X_{p.e.}Y_{o.e.}} & C_{X_{p.e.}Z_{o.e.}} \\ 0 & C_{Y_{p.e.}Y_{o.e.}} & C_{Y_{p.e.}X_{o.e.}} \\ 0 & 0 & C_{Z_{p.e.}Z_{o.e.}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{o.e.} \\ Y_{o.e.} \\ Z_{o.e.} \end{pmatrix}$$

У цьому випадку, часткові похідні будуть залежати від  $X_{o.e.}$ ,  $Y_{o.e.}$ , та  $Z_{o.e.}$  нелінійним способом, а точкою оцінки  $r_{o.e.}=(X_{o.e.}, Y_{o.e.}, Z_{o.e.})$ . Слід підкреслити, що матричне перетворення - це представлення функції у вигляді нескінченної суми доданків, які обчислюються зі значень похідних функцій в одній точці та наближення до першого порядку ряду Тейлора для кожної координати. Елементи матриці  $\underline{m}_{X_{p.e.}X_{o.e.}}$ ,  $\underline{m}_{Y_{p.e.}Y_{o.e.}}$  і  $\underline{m}_{Z_{p.e.}Z_{o.e.}}$  введені для корегування лінійних показників вимірної решітки,  $\underline{m}_{X_{p.e.}X_{o.e.}}$ . Вони вносять корекцію у відображені координат  $X_{p.e.}$  і  $Y_{p.e.}$  в горизонтальній площині, а саме:  $\underline{m}_{Y_{p.e.}Z_{o.e.}}$  і  $\underline{m}_{X_{p.e.}Z_{o.e.}}$  є корегуючими для зв'язку між вертикальною та горизонтальною площинами. Оскільки одиничний вектор  $\underline{f}_{X_{o.e.}}$  у напрямку  $X_{p.e.}$  метричної системи координат є паралельним одиничному вектору  $\underline{f}_{X_{o.e.}}$  та одиничному вектору  $\underline{f}_{Y_{o.e.}}$  в напрямку  $Y_{p.e.}$  метричної системи координат площині, що охоплюється векторами  $\underline{f}_{X_{o.e.}}$  і  $\underline{f}_{Y_{o.e.}}$ , то три елементи матриці в рівнянні (2) будуть дорівнювати 0.

Отже, калібрування  $\underline{m}_{X_{p.e.}Z_{o.e.}}$  та  $\underline{m}_{Y_{p.e.}Z_{o.e.}}$  вимагає, щоб інші коефіцієнти перетворення матриці (2) були оцінені, але для оцінки  $\underline{m}_{X_{p.e.}Z_{o.e.}}$  та  $\underline{m}_{Y_{p.e.}Z_{o.e.}}$  не потрібно, щоб кут на еталонному зразку нанооб'єкту був відомий. Отже, розроблена методика дає можливість виправити будь-які цифрові зображення тривимірної поверхні нанооб'єкту у відповідності з еталоном та вносити коригування отриманих результатів вимірювання в on-line режимі.

## Література

1. Nanosurf. Atomic force microscopy applications [Електронний ресурс] / Nanosurf – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nanosurf.com/en/>.
2. Equipment for real-time industrial applications [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.digital-instruments.com/>.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ  
ВИМІРЮВАЛЬНОГО ТРУБОПРОВІДУ НА ТОЧНІСТЬ  
ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ МЕТОДОМ ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ  
ТИСКУ**

**Костик І.В.**, асистент, НУ «Львівська політехніка», Ihor.V.Kostyk@lpnu.ua

**Матіко Ф.Д.**, д.т.н, професор, НУ «Львівська політехніка»,  
Fedir.D.Matiko@lpnu.ua

**Роман В.І.**, к.т.н, доцент, НУ «Львівська політехніка», e-mail:  
Vitalii.I.Roman@lpnu.ua

В автоматизованих системах вимірювання витрати часто застосовують витратоміри на основі дросельних елементів, зокрема, витратоміри зі стандартними діафрагмами [1]. Однак при застосуванні цих витратомірів в умовах технологічних площадок не завжди вдається виконати вимоги стандартів [2] щодо їх конструкції та монтажу, внаслідок чого можуть виникати додаткові похибки, які впливають на точність вимірювання витрати плинних енергоносіїв. В науково-дослідних роботах підтверджено, що заглиблення (концентричні щілини) на ділянці вимірювального трубопроводу (ВТ) довжиною  $2D$  до перед та за діафрагмою не є впливовим фактором, який формує суттєві збурення потоку. Навпаки, наявність симетричних виступів у внутрішній порожнині трубопроводу (виступаючі прокладки між фланцями, або між фланцями та камерами усереднення, концентричні зварні шви і т.д.) можуть бути причиною суттєвих похибок вимірювання витрати. Зокрема, у роботах [3, 4] представлено результати щодо впливу симетричних виступів на відстані не більше  $2D$  перед діафрагмою та підтверджено що такі виступи можуть мати істотний вплив на її коефіцієнт витікання, внаслідок спотворення профілю швидкості потоку перед первинним перетворювачем витрати. Однак не дослідженим є вплив виступів, які знаходяться на віддалі до  $10D$  перед діафрагмою. Основною метою даної роботи є дослідження впливу симетричних виступів на віддалі від  $2D$  від діафрагми до  $10D$ .

Для проведення досліджень розроблено витратовимірювальну установку (рис.1), до складу якої входять два витратоміри змінного перепаду тиску (ВЗПТ): зразковий та робочий. У складі обидвох ВЗПТ застосовано високоточні вимірювальні перетворювачі перепаду тиску, тиску, температури фірми Honeywell з вихідним HART сигналом (див.рис.1.б), а обчислення витрати виконується в реальному часі за допомогою програми, встановленої на ПЕОМ.

Відповідність геометричних розмірів вимірювального трубопроводу, зразкового та робочого витратомірів вимогам ДСТУ ГОСТ 8.586.1,2:2009 підтверджено в ДП "Львівстандартметрологія" за методикою МВУ 043/01-2011.



а)



б)

Рис.1. Експериментальна установка: а) загальний вигляд; б) вид на стійку шафи вимірювальних перетворювачів

Для забезпечення можливості дослідження впливу виступів у внутрішню порожнину трубопроводу на вимірюване значення витрати на різних відстанях від звужувального пристрою, ділянка ВТ робочого витратоміра довжиною  $10D$  перед діафрагмою складається з трьох секцій: секції довжиною  $2D$ , секції довжиною  $3D$ , секції довжиною  $5D$ . Між секціями вимірювального трубопроводу робочого витратоміра по чергово, на різних відстанях  $2D$ ,  $5D$  та  $10D$  перед діафрагмою, встановлюються симетричні кільця товщиною  $8$  мм, що імітують висоту виступу  $0,025D$ ,  $0,05D$ ,  $0,1D$ . Експериментальні дослідження виконано для стандартних діафрагм із значенням відносного діаметра отвору  $\beta = 0,2; 0,4; 0,5; 0,67$ .

З фізичної суті рівняння витрати методу змінного перепаду тиску, а також коефіцієнтів цього рівняння очевидно, що наявність у внутрішній порожнині трубопроводу елемента, який спотворює профіль швидкості потоку, призводить до зміни коефіцієнта витікання звужувального пристрою. Тому на основі отриманих результатів експериментальних досліджень слід оцінити відхилення коефіцієнта витікання зумовлені наявністю концентричного виступу перед діафрагмою.

Відносне відхилення коефіцієнта витікання слід визначати за формулою:

$$\delta_c = \frac{C - C_0}{C_0} \cdot 100\% = \left( \frac{C}{C_0} - 1 \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $C$  – значення коефіцієнта витікання, обчислене для значень параметрів потоку у ВТ робочого витратоміра;  $C_0$  - значення коефіцієнта витікання, обчислене для значень параметрів потоку у ВТ зразкового витратоміра.

Оцінювання відхилення  $\delta_c$ , яке зумовлене наявністю концентричного виступу перед діафрагмою, виконано за такою методикою:

1) проведено експериментальні дослідження ВТ з та без кілець-імітаторів, які імітують виступи у внутрішню площину висотою  $0,025D$ ,  $0,05D$ ,  $0,1D$ , на відстанях  $2D$ ,  $5D$  та  $10D$  перед діафрагмою робочого витратоміра;

2) застосувавши формулу (1), обчислено значення відносного відхилення для кожного з наборів миттєвих значень параметрів потоку у ВТ;

3) для визначення впливу виступу у внутрішні порожнини ВТ, із значень відносного відхилення  $\delta_C$ , що отримані під час дослідження витратомірів із встановленим кільцем-імітатором, вилучено систематичні відхилення, отримані для витратомірів без встановленого кільця-імітатора, а сформовано масиви значень  $\delta_{CB}$ ;

4) для кожного масиву значень  $\delta_{CB}$ , шляхом знаходження середнього арифметичного значення, проведено усереднення значень  $\delta_{C_{сер}}$  відносного відхилення коефіцієнта витікання, для кожного з значення відстані до діафрагми, та висоти виступу.

В результаті опрацювання результатів експериментальних досліджень, авторами отримано залежності усередненого відносного відхилення коефіцієнта витікання  $\delta_{C_{сер}}$  від відносного діаметра отвору діафрагми  $\beta$  для довжини прямолінійної ділянки ВТ між торцем камери "+" та кільцем-імітатором виступу на відстанях 2D, 5D та 10D, які мають вигляд:

- для довжини ділянки  $L=2D$

$$\delta_{C_{сер}} = (-51,2 + 34,2 \cdot e^{3,14\beta}) \cdot (h/D)^{1,8}; \quad (2)$$

- для довжини ділянки  $L=5D$

$$\delta_{C_{сер}} = (-4,8 + 1,88 \cdot e^{5,94\beta}) \cdot (h/D)^{1,8}; \quad (3)$$

- для довжини ділянки  $L=10D$

$$\delta_{C_{сер}} = (-5,9 + 3,24 \cdot e^{4,1\beta}) \cdot (h/D)^{1,5}; \quad (4)$$

Враховуючи, що відносно розширену невизначеність вимірювання величини  $u$  за 95 % довірчого рівня обчислюють за формулою [2]

$$U'_{y=2u'} = abs(\delta_y) \quad (5)$$

отримуємо формулу для обчислення додаткової відносної розширеної невизначеності, що виникає внаслідок наявності виступу перед діафрагмою:

$$U'_{h\delta} = abs(\delta_{C_{сер}}) \quad (6)$$

Отже застосовуючи залежності (2)-(4) та (6) можна оцінити невизначеність  $U'_{h\delta}$  для значень відносного діаметра отвору діафрагми та відносної висоти виступу із врахуванням діаметра трубопроводу витратоміра.

### Література

1. Pistun, Y., Matiko, H., Krykh N., Matiko F. Structural modelling of throttle diagrams for measuring fluid parameters // Metrology and Measurement Systems, Volume 25, Issue 4, 2018, Pages 659-673. ISSN 0860-8229

2. ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2009. Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 5. Методика виконання вимірювань (ГОСТ 8.586.5-2005, IDT) / Пістун Є.П., Лесовой Л.В. і ін. / [Чинний від 01.04.2010]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 196 с.

3. ISO/TR 12767:2007 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices — Guidelines on the effect of departure from the specifications and operating conditions given in ISO 5167.

4. Chakraborty G. Effect of various parameters on natural gas measurement and its impact on UFG, World gas conference, Kuala Lumpur, 2012. – 12 pages.

## **ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ІНЖЕНЕРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ВОДОГОСПОДАРСЬКО-МЕЛІОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСУ**

**Кузьмич Л.В.**, провідний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації НААН, Київ

**Кузьмич А.А.**, магістрант Національного університету водного господарства та природокористування, м.Рівне, e-mail: [annekuzmych99@gmail.com](mailto:annekuzmych99@gmail.com)

У відповідності до схваленої Кабінетом Міністрів України «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року» (Розпорядження КМУ від 14 серпня 2019 р. № 688-р), стан меліоративного землеробства за рівнем використання наявних потужностей інженерної інфраструктури водогосподарсько - меліоративного комплексу характеризується як кризовий із загрозою погіршення.

Серед першочергових заходів реалізації даної Стратегії заплановано здійснити інвентаризацію меліорованих земель, зокрема інженерної інфраструктури міжгосподарських та внутрішньогосподарських мереж гідромеліоративних систем з метою встановлення ефективності їхнього функціонування, що передбачає проведення оцінки технічного стану даних об'єктів [1-4].

З розвитком геоінформаційних систем і технологій, дистанційного вимірювання, удосконаленням приладових систем, обладнаних датчиками різного призначення, на сьогоднішній день є можливим здійснення постійного та безперервного дистанційного автоматизованого моніторингу технічного стану водогосподарсько - меліоративного комплексу з контролем їхніх нормативних технічних параметрів, що дозволить оперативно реагувати на зміни технічних характеристик як елементів, так і всієї конструкції в цілому. Також це дозволить здійснювати технічне обслуговування об'єктів інженерної інфраструктури водогосподарсько - гідромеліоративних систем за фактичним станом, а не згідно нормативних термінів, які не завжди відповідають дійсності [5-8].

Концепція побудови та структури автоматизованої системи дистанційного моніторингу та контролю технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури гідромеліоративних систем (див. Рис.1) містить автоматизовану систему опитування датчиків (АСО) та інформаційно-діагностичну систему (ІДС), що працює в локальній або корпоративній комп'ютерних мережах і є інтегрованою на програмному рівні, при цьому АСО здійснює наскрізну передачу даних від первинних датчиків до центрального серверу збору даних. На виході з сервера збору даних АСО інтегрується з ІДС. В цілому, автоматизованої системи дистанційного моніторингу та контролю технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури гідромеліоративних систем являє собою автоматизовану

систему «відкритого типу», що забезпечує можливість поетапного розвитку системи, взаємозамінність апаратних і програмних засобів і сумісність з АСУ іншого рівня [5-6].

АСО являє собою розподілену систему дистанційного моніторингу та контролю, яка побудована за технологією так званої «промислової мережі», що забезпечує надійний захист від перешкод, здешевлення і спрощення робіт з монтажу та експлуатації системи автоматики. «Промислова мережа» здійснює фізичне об'єднання вимірювальних, комунікаційних і керуючих пристроїв та дозволяє використовувати відкриті програмно-логічні протоколи обміну інформацією.

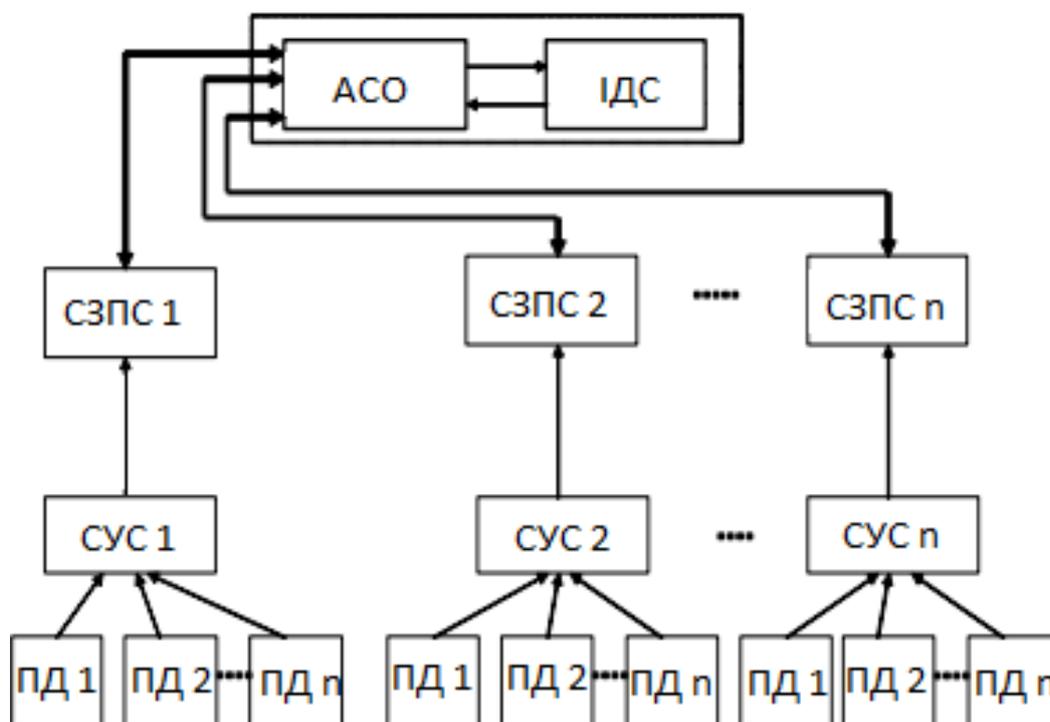


Рис.1. Принципова структурна схема автоматизованої системи дистанційного моніторингу та контролю технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури водогосподарсько - меліоративного комплексу: АСО - автоматизована система опитування датчиків; ІДС - інформаційно-діагностична система; СЗПС – система збору і передачі сигналів; СУС – система узгодження сигналів; ПД – первинний датчик.

Автоматизована система дистанційного моніторингу та контролю технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури водогосподарсько - меліоративного комплексу структурно складається з чотирьох рівнів:

- 1) перший нижній рівень - контрольно-вимірювальна апаратура, що містить первинні датчики, вимірювальні пристрої, тощо;
- 2) другий рівень - система узгодження сигналів служить для виділення і перетворення сигналів (у цифровий вид) з врахуванням виду перетворення сигналу;

- 3) третій рівень - система збору і передачі сигналів, що являє собою систему телекомунікацій, перетворення і передачі інформації в цифровому коді на центральний блок збору даних АСО;
- 4) четвертий верхній рівень - програмно-технічний комплекс, що містить центральний блок автоматизованого опитування та інформаційно-діагностичну систему контролю безпеки об'єктів інженерної інфраструктури водогосподарсько - меліоративного комплексу з відповідним комп'ютерним і програмним забезпеченням.

### Література

1. Інструкція з обліку та оцінки стану меліорованих земель і меліоративних систем // ВНД 33-5.5-13-2002. Державний комітет України по водному господарству. Введений на заміну ВНД 33-5.5-05-98 «Облік та оцінка меліоративного стану зрошуваних і осушуваних угідь та технічного стану гідромеліоративних систем». К., 2002. – 35 с.
2. Методика оцінки технічного стану каналів меліоративних систем: посіб. До ДБН В.2-4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» / УААН, ІГіМ. – К., ДП «Інформ.-аналіт. агентство», 2009. – 44с.;
3. Методика проведення натурних обстежень насосних станцій та гідротехнічних споруд на магістральних каналах меліоративних систем. Київ: Держводагетство України. 2013. 27 с.
4. Крученко В.Д. Сучасний стан та перспективи відновлення ГТС водогосподарсько-меліоративного комплексу / Крученко В.Д. та ін.// Водне господарство України. 2013. № 3. С. 34-37.
5. Кузьмич Л.В. Сучасні тенденції створення приладових систем вимірювання механічних величин [Текст] / Л.В.Кузьмич // Вісник Інженерної Академії України. Київ, 2016. – №2. – С. 180-184.
6. L. Kuzmych; O. Kobylanskyi; M. Duk. Current state of tools and methods of control of deformations and mechanical stresses of complex technical systems. Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 108085J (1 October 2018); doi: [10.1117/12.2501661](https://doi.org/10.1117/12.2501661)
7. Rus, G. Optimized damage detection of steel plates from noisy impact test [Text] / G. Rus, S. Y. Lee, S. Y. Chang, S. C. Wooh // International Journal for Numerical Methods in Engineering. - 2006. - Vol. 68, Issue 7. - P. 707-727. doi: [10.1002/nme.1720](https://doi.org/10.1002/nme.1720).
8. Дехтяр О.О., Брюзгіна Н.Д. Сучасний стан гідротехнічних споруд та відновлення їх функціональної здатності // Сучасний стан та перспективи розвитку водного господарства. Міжнародна науково-технічна конференція. Дніпропетровськ, 2016. С. 24-26.

## ЗАВДАННЯ І ГІПОТЕЗИ ПРИ СТВОРЕННІ ОПТИМІЗОВАНОЇ МОДЕЛІ РУХУ РОБОТА-ГЕКСАПОДА

**Макаров Я.В.**, аспірант, НТУ України «КПІ ім. І.Сікорського»,  
[moltenclouds@gmail.com](mailto:moltenclouds@gmail.com)

**Киричук Ю.В.**, д.т.н., доцент, НУТ України «КПІ ім. І.Сікорського»,  
[kirichuky@gmail.com](mailto:kirichuky@gmail.com)

Метою наукової роботи є створення високоманеврового робота-гексапода завдяки створенню оптимізованої моделі його руху та оптимізації її обчислення для запобігання необхідності додаткових обчислювальних потужностей, частина з яких таким чином може бути використана для підвищення точності руху в цілому.

В процесі дослідження постають та мають бути виконані наступні завдання:

1. На основі аналізу літератури систематизувати й узагальнити сучасні науково-методичні знання та результати практичного досвіду в галузі створення інсектоподібних пересувних роботів.

- Аналіз будови та принципів руху існуючих моделей, визначення основних переваг та недоліків конструкцій та алгоритмів.

- Дослідження характеристик, принципів роботи, вхідних та вихідних параметрів інтелектуальної частини приладів.

2. Аналіз існуючих методик розрахунку систем інверсної кінематики багатосуглобних конструкцій, відокремлення найбільш оптимальних та точних варіантів.

3. Розроблення власної розширеної методики розрахунку інверсної кінематики кінцівок.

4. Обґрунтування переваг та необхідності використання гнучкої системи взаємодії з оточенням перед задалегідь прогнозованими та запрограмованими рухами.

5. Розробка програмного забезпечення для контролю та майбутньої діагностики рухів робота з використанням власних принципів розрахунку позиції кінцівки.

6. Розробка дослідного зразка робота для тестування та аналізу руху за розробленою методикою.

7. Метрологічна атестація та експериментальні дослідження робота. Аналіз, оцінка достовірності та ефективності отриманих результатів експериментальних досліджень.

**Об'єкт дослідження.** Об'єктом дослідження у даному випадку виступають методи руху кінцівок інсектоподібних роботів.

**Предмет дослідження.** Предметом даного дослідження є розрахунок та оптимізація рухів кінцівок інсектоподібних роботів та провадження системи керування ними на основі отриманих даних.

Основна ідея даного дослідження полягає у створенні робочої моделі рухомого робота-гексапода, здатного за допомогою власних функціональних можливостей програмно-апаратного забезпечення перетинати місцевість з непрогнозованою формою поверхонь завдяки розробленій в процесі його створення оптимізованій моделі розрахунку рухів на основі інверсної кінематики з підвищеною відносно існуючих аналогів точністю.

Робоча гіпотеза 1: Функціональні можливості програмно-апаратної реалізації руху кінцівок робота, що базуються на координатах поверхні з датчиків та алгоритмах інверсної кінематики для розрахунку кінцевого положення кінцівки можуть бути розширені шляхом впровадження нейромережі з патернами положень кінцівок та алгоритмів руху різноманітних комах в залежності від таких умов, як навантаження на тіло, швидкість руху, стійкість положення в просторі, зчеплення з поверхнею тощо.

Робоча гіпотеза 2: Створення оптимізованого програмного коду дозволить більш ефективно використовувати інформаційно-обчислювальні потужності інтелектуальної частини робота, тим самим дозволивши виконувати операції швидше та мати можливість використання більш простого та дешевого обладнання.

#### **Наукова новизна одержаних результатів.**

Новизна дослідження полягатиме в використанні у складі програмно-апаратних частини робота спрощеної для розрахунку моделі, що не поступається більш складним точним існуючим аналогам, що досягається шляхом впровадження нового методу аналізу кінцевих координат постанови кінцівки, який дозволить отримати значення для найбільш прийнятних за даних умов положення.

#### **Практична цінність одержаних результатів.**

Короткотривалі очікувані результати проекту полягають в розробці, виготовленні та подальшому впровадженні в практику усунення шкідливих наслідків нової концепції вирішення проблеми з використанням високоманеврової моделі робота та подальшій комерційній реалізації як моделі так і принципів програмування рухів.

Практична значущість проекту також полягає в можливості широкого застосування робота як рухомої платформи для іншого обладнання в різних галузях. Віддалену практичну значущість проекту доцільно розглядати в таких аспектах:

1. Розробка більш складних пристроїв на основі запропонованих методів керування та взаємодії з оточенням. Розроблені в рамках проекту принципи обчислення координат руху можуть бути використані для інших роботів подібної будови. Запропонована технологія також і в стаціонарних роботах, що використовують декілька рухомих кінцівок для роботи.

2. Отриманий пристрій може використовуватися, як наочна модель, що демонструє будь-які види ходи комах та принципи керування рухомими кінцівками за допомогою запрограмованого мікропроцесору.

## ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВИТРАТИ СОПЛА ПАЛЬНИКА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Матіко Ф.Д.**, д.т.н., професор, НУ «Львівська політехніка»,  
[fedir.d.matiko@lpnu.ua](mailto:fedir.d.matiko@lpnu.ua)

**Матіко Г.Ф.**, к.т.н., доцент, НУ «Львівська політехніка»,  
[halyna.f.matiko@lpnu.ua](mailto:halyna.f.matiko@lpnu.ua)

**Крих Г.Б.**, к.т.н., доцент, НУ «Львівська політехніка», [hanna.b.krykh@lpnu.ua](mailto:hanna.b.krykh@lpnu.ua)

Встановлення точного обліку природного газу важливе для налагодження чітких розрахунків між газорозподільними організаціями та споживачами природного газу. Для точного визначення витрати газу через нестандартизовані сопла слід знати коефіцієнт витрати  $\alpha$ . Цей коефіцієнт залежить як від конструктивних характеристик сопла, так і від режиму протікання газу. Наявні теоретичні та експериментальні дані не дають змогу точно розрахувати значення  $\alpha$ . Для підвищення точності визначення витрати через сопло певної нестандартної конструкції коефіцієнт витрати  $\alpha$  необхідно визначати експериментально.

Авторами удосконалена методика визначення витратної характеристики нестандартного сопла пальника, яка передбачає такі операції:

1) дослідження умов експлуатації нестандартного обладнання та визначення робочих діапазонів зміни параметрів газу: тиску  $P=[P_{\min} \div P_{\max}]$ , температури  $T=[T_{\min} \div T_{\max}]$ , густини  $\rho_c=[\rho_{c \min} \div \rho_{c \max}]$ ;

2) виконання експериментальних досліджень із застосуванням як робочого середовища повітря для визначення коефіцієнта витрати сопла пальника для діапазону тиску повітря  $P=[P_{\min} \div P_{\max}]$ , що відповідає діапазону тиску газу під час експлуатації пальника;

3) розроблення аналітичної залежності коефіцієнта витрати від відношення тиску після сопла та перед соплом  $\alpha=f(P_{\delta}/P)$ ; побудова математичної моделі пальника із застосуванням отриманої залежності  $\alpha=f(P_{\delta}/P)$ ;

4) застосування розробленої математичної моделі пальника для обчислення витрати природного газу через пальник для діапазонів зміни параметрів газу в умовах експлуатації:  $P=[P_{\min} \div P_{\max}]$ ,  $T=[T_{\min} \div T_{\max}]$ ,  $\rho_c=[\rho_{c \min} \div \rho_{c \max}]$ ;

5) формування витратної характеристики пальника (таблиць значень витрати газу) для типових режимів експлуатації пальника.

Для обчислення коефіцієнта витрати сопла на основі результатів експериментальних досліджень запропоновано застосувати такі залежності

$$\alpha = Q_c \left( S P \sqrt{\frac{2\chi}{\chi-1} \frac{T_c}{P_c}} \sqrt{\frac{1}{\rho_c T K} \left[ \left( \frac{P_{\delta}}{P} \right)^{\frac{2}{\chi}} - \left( \frac{P_{\delta}}{P} \right)^{\frac{\chi+1}{\chi}} \right]} \right)^{-1}, \text{ при } \left( \frac{P_{\delta}}{P} \right) > \left( \frac{P_{\delta}}{P} \right)_{кр}, \quad (1)$$

$$\alpha = Q_c \left( S P \sqrt{\frac{T_c}{P_c}} \left( \frac{2}{\chi + 1} \right)^{\frac{1}{\chi - 1}} \sqrt{\frac{2\chi}{(\chi + 1)\rho_c T K}} \right)^{-1}, \text{ при } \left( \frac{P_6}{P} \right) \leq \left( \frac{P_6}{P} \right)_{кр}, \quad (2)$$

де  $Q_c$  – масова витрата повітря через сопло, зведена до стандартних умов;  $P$  – абсолютний тиск повітря перед пальником;  $T$  – температура повітря перед пальником;  $P_6$  – барометричний тиск;  $S$  – площа прохідного отвору сопла діаметром  $d$ ;  $\chi$  – показник адіабати повітря;  $K$  – коефіцієнт стисливості, який можна обчислити за методами ГОСТ 30319.2-96 [1] або за методикою ДССДД 4-2002 [2];  $\rho_c = 1,2044 \text{ кг/м}^3$  – густина повітря за стандартних умов.

Для подальшого застосування отриманих за залежностями (1) і (2) значень коефіцієнта витрати  $\alpha$  для обчислення витрати газу було оцінено їх невизначеність. Враховуючи, що  $\alpha = f(Q_c, P, P_6, d, \chi, \dots)$  та припускаючи, що параметри функції  $\alpha$  є некорельованими величинами, авторами отримано рівняння відносної стандартної невизначеності коефіцієнта витрати:

$$u'_\alpha = \left( \vartheta_{Q_c}^2 \cdot u'_{Q_c}{}^2 + \vartheta_d^2 \cdot u'_d{}^2 + \vartheta_P^2 \cdot u'_P{}^2 + \vartheta_{P_6}^2 \cdot u'_{P_6}{}^2 + \vartheta_\chi^2 \cdot u'_\chi{}^2 + \vartheta_T^2 \cdot u'_T{}^2 + \vartheta_{\rho_c}^2 \cdot u'_{\rho_c}{}^2 + \vartheta_K^2 \cdot u'_K{}^2 \right)^{0,5}, \quad (3)$$

де  $u'_{x_i}$  – складова відносної стандартної невизначеності  $i$ -го параметра, що входить до множини  $x = \{ Q_c, d, P, P_6, \chi, T, \rho_c, K \}$ ;  $\vartheta_{x_i}$  – коефіцієнт впливу невизначеності параметра  $x_i$  на невизначеність витрати.

За результатами застосування запропонованої методики та експериментальних досліджень процесу витікання повітря через пальник отримані значення коефіцієнта витрати нестандартного сопла в діапазоні від 0,51 до 0,77 в досліджуваному інтервалі відношення тисків на виході та вході пальника. Розроблено аналітичну залежність коефіцієнта витрати сопла від відношення тисків  $P_6/P$ . Розширена відносна невизначеність обчислених за цією залежністю значень коефіцієнта витрати не перевищує 1,5%.

Розроблену аналітичну залежність коефіцієнта витрати від відношення тисків застосовано для удосконалення математичної моделі пальника для розрахунку витрати природного газу та формування таблиць значень витрати газу в діапазонах зміни параметрів газу під час експлуатації пальника.

Результати роботи дають змогу налагодити точний облік природного газу впродовж його постачання газорозподільними компаніями до споживачів, а також налагодити економічні режими роботи технологічного обладнання на багатьох промислових підприємствах.

### Література

1. ГОСТ 30319.2-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости. - М.: Изд-во стандартов, 1996. - 53 с.
2. Газ природный. Методика розрахунку коефіцієнта стисливості у діапазоні тиску 12 ... 25 МПа [Текст]: ДССДД 4-2002. [Чинний від 2002-07-01] - К.: Держстандарт України, 2002. - 5 с.

## ПРЕЦИЗІЙНІ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНІ МІКРОНАСОСИ ТОЧНОГО ДОЗУВАННЯ РІДИН

**Матус С.К.**, к.т.н., доцент, Національний університет водного господарства та природокористування, [matus\\_sv@ukr.net](mailto:matus_sv@ukr.net)

**Квасніков В.П.**, д.т.н., професор, НАУ, [kvp@nau.edu.ua](mailto:kvp@nau.edu.ua)

Одним із важливих напрямків розвитку сучасної техніки є розробка і впровадження нових методів і засобів у приладобудуванні, з можливістю їх мініатюризації, що дозволяє отримувати нові технічні рішення та характеристики приладів. В залежності від ступеня мініатюризації використовуються різні типи мікродвигунів. Так, для рівня, де необхідна велика потужність при відносно невеликих розмірах, використовуються мініатюрні електромагнітні двигуни і клапани. П'єзоприводи програють електромагнітним двигунам за потужністю, але основна їх перевага, це можливість прецизійного дозування, позиціонування або переміщення із субмікронною точністю. Крім того, п'єзоелектричні мотори мають ряд переваг над електромагнітними: широкий діапазон регулювання частот обертання; можливість малих, у межах оберту вала, переміщень (частки кутових секунд); високий момент на валу; мале енергоспоживання; іскровибухобезпечність; безінерційність; мала маса і габарити.

До п'єзоперетворювачів руху відносяться також п'єзоелектричні мікронасоси і розпилювачі. Ці п'єзоелектричні пристрої використовуються в біохімічній і медичній техніці, струменевих принтерах, ультразвукових зволожувачах повітря та ін.

П'єзоелектричні приводи і двигуни, як перетворювачі руху, мають унікальні властивості для використання їх у робототехніці, нано- і мікроелектронній технології. Можливість отримання руху у діапазоні від часток нанометра до десятків мікрометрів робить їх привабливими для розробки пристроїв мікроелектромеханічних систем (MEMS). Вперше над розробкою різних рушіїв із використанням п'єзоефекту, а саме, хвильових насосів, розпилювачів рідини, комутаторів, працювали науковці під керівництвом К.М. Рагульскіса [1], а детальний опис п'єзоелектричних двигунів зробили В.В. Лавриненко, І.О. Карташев, В.С. Вишневський [2]. Одними з найкращих п'єзоелектричних двигунів вважаються мотори розроблені С.Ф. Петренко [3], вони використовуються в різних мікроманіпуляторах із кроком до 1 нм, а також у перистальтичних насосах. При достатньо великій кількості схем п'єзоелектричних двигунів, їх розробка залишається актуальною задачею завдяки простоті конструкції і можливості роботи у широкому діапазоні звукових і ультразвукових частот.

В стандартних мікронасосах використовуються електроприводи, що дозволяють формувати певний рівень мікродоз і швидкості їх надходження. Подальше зменшення мікродоз в таких системах, можна досягнути шляхом встановлення понижуючих редукторів. Це, в свою чергу, призводить до

збільшення габаритів, енергоємності, але з іншого боку, приводить до обмеження можливостей їх групування у часі за рахунок зменшення швидкості транспортування мікродози. Позбавитися вказаних недоліків можливо, якщо використати п'єзоелектричний двигун з системою управління. Основою перистальтичного насосу є перистальтичний механізм, який представлений роликівим колесом та еластичною силіконовою трубкою, яку послідовно стискають ролики колеса, що обертається (рис. 1). В поєднанні із роликівим голівкою величина мікродози пристрою пропорційна його кутовому кроку, який може змінюватися від одиниць кутових секунд до неперервного обертання. Таким чином, змінюючи тривалість імпульсів збудження п'єзоприводу можна змінювати величину мікродози від нуля до нескінченності.

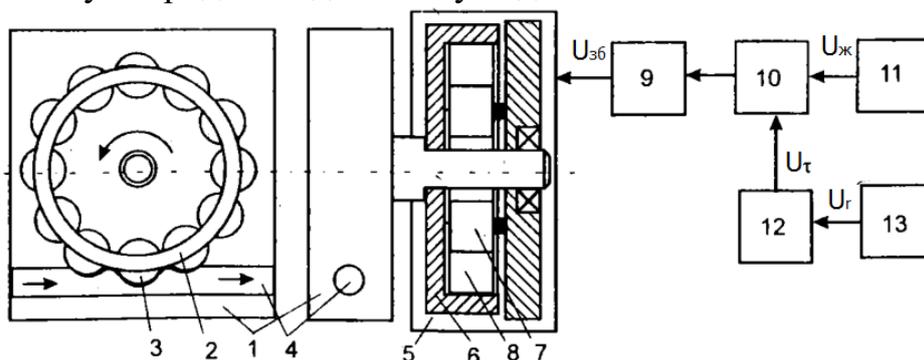


Рис. 1. Схема перистальтичного мікронасосу:

1 – перистальтичний механізм; 2 - роликіве колесо; 3 – стискаючі елементи; 4 – силіконова трубка; 5 – п'єзопривід; 6 – ротор; 7 – осцилятор; 8 – штовхачі; 9 – блок живлення двигуна; 10 – керований ключ; 11 – джерело постійної напруги; 12 – блок формування тривалості імпульсів; 13 – блок формування частоти імпульсів

Групування мікродоз, або витрата визначається швидкістю транспортування мікродози, або те саме, що швидкістю обертання п'єзоприводу. Швидкість обертання можна визначити через частоту імпульсів живлення, так і напругою п'єзодвигуна. Саме режим регулювання частотою дозволяє забезпечити сталість моменту на валу двигуна, а отже значно знизити нижню межу діапазону регулювання витрати рідини у часі, тобто практично звести її до нуля.

Використання запропонованих пристроїв дозволяє за рахунок формування малих доз і їх групування у часі значно розширює функціональні можливості пристроїв такого класу.

### Література

1. Р.Ю. Бансявичус, К.М. Рагульскис *Вибродвигатели. Вильнюс: Мокслас.* 1981. 193 с.
2. В.В. Лавриненко, И.А. Карташов, В.С. Вишневыский *Пьезо электрические двигатели.* М.: Энергия, 1980. 372 с.
3. С.Ф. Петренко, *Пьезоэлектрический двигатель в приборостроении.* К: Корнійчук, 2002. 96 с.

## МЕТОД ТА ПРИЛАДОВА СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛІВ ПРУЖНОСТІ ТРЕТЬОГО ПОРЯДКУ ТВЕРДИХ ТІЛ

**Мащенко В.А.**, доцент,

Одеська державна академія технічного регулювання та якості,

[volodymyr\\_mashchenko@ukr.net](mailto:volodymyr_mashchenko@ukr.net)

Пружні властивості конструкційних та гетерогенних матеріалів як твердих тіл представляють інтерес з точки зору фундаментальної та прикладної науки. Макроскопічні дослідження твердих тіл показують, що їх пружні властивості в загальному випадку не підкоряються закону Гука.

Для опису нелінійних пружних властивостей твердих тіл використовуються модулі пружності третього порядку (МПП). Використання пружного потенціалу типу Мурнагана дає можливість, поряд із модулями пружності другого порядку (постійні Ляме  $\lambda$ ,  $\mu$ ), ввести три МПП  $A$ ,  $B$ ,  $C$ .

Встановлено, що для визначення МПП ізотропного твердого тіла необхідно провести принаймні три незалежних експерименти. Такими експериментами можуть бути визначення швидкостей поширення поздовжніх ( $v_l$ ) та поперечних ( $v_t$ ) ультразвукових (УЗ) хвиль в зразку матеріалу при різних напруженнях.

При одновісній нарузі, що прикладена вздовж напрямку поширення хвилі, виконуються наступні рівності:

$$\rho v_{l\parallel}^2 = k_0 + \frac{4}{3}\mu_0 - \frac{\sigma}{3k_0} \left( k_0 - \frac{2}{3}\mu_0 + \frac{\left(k_0 + \frac{1}{3}\mu_0\right)\left(4k_0 + \frac{22}{3}\mu_0\right)}{\mu_0} + \right. \quad (1)$$

$$\left. + 2 \frac{k_0 + \frac{1}{3}\mu_0}{\mu_0} A + \frac{4k_0 + \frac{10}{3}\mu_0}{\mu_0} B + 2C \right),$$

$$\rho v_{t\parallel}^2 = \mu_0 - \frac{\sigma}{3k_0} \left( 4k_0 + \frac{4}{3}\mu_0 + \frac{k_0 + \frac{4}{3}\mu_0}{\mu_0} A + B \right), \quad (2)$$

де  $\sigma$  – механічна напруга,  $\rho$  – густина,  $\mu_0$  – модуль зсуву у ненапруженому стані ( $\mu_0 = \mu$ ),  $k_0$  – модуль об'ємної деформації у ненапруженому стані, причому

$$k_0 = \lambda + \frac{2}{3}\mu_0.$$

При одновісній нарузі, що прикладена у напрямку перпендикулярному до напрямку поширення хвилі для поздовжньої хвилі виконується наступна рівність:

$$\rho v_{t\perp}^2 = k_0 + \frac{4}{3}\mu_0 - \frac{\sigma}{3k_0} \left( 4k_0 - \frac{8}{3}\mu_0 + 2 \frac{\left(k_0 - \frac{2}{3}\mu_0\right)^2}{\mu_0} + \frac{k_0 - \frac{2}{3}\mu_0}{\mu_0} A + 2 \frac{\left(k_0 - \frac{5}{3}\mu_0\right)}{\mu_0} B - 2C \right). \quad (3)$$

Для поперечної хвилі, якщо напрямок поляризації і напруги співпадають, маємо наступне співвідношення:

$$\rho v_{t\perp}^2 = \mu_0 - \frac{\sigma}{3k_0} \left( k_0 + \frac{4}{3}\mu_0 + \frac{k_0 + \frac{4}{3}\mu_0}{\mu_0} A + B \right), \quad (4)$$

Для визначення МПТП проводили вимірювання часу проходження ультразвукового УЗ-імпульсу через зразок матеріалу за трьома схемами (рис. 1–3) при тиску  $p$  та визначали, відповідно, швидкості  $v_{l\parallel}$ ,  $v_{l\perp}$  та  $v_{t\angle}$  УЗ-хвиль.

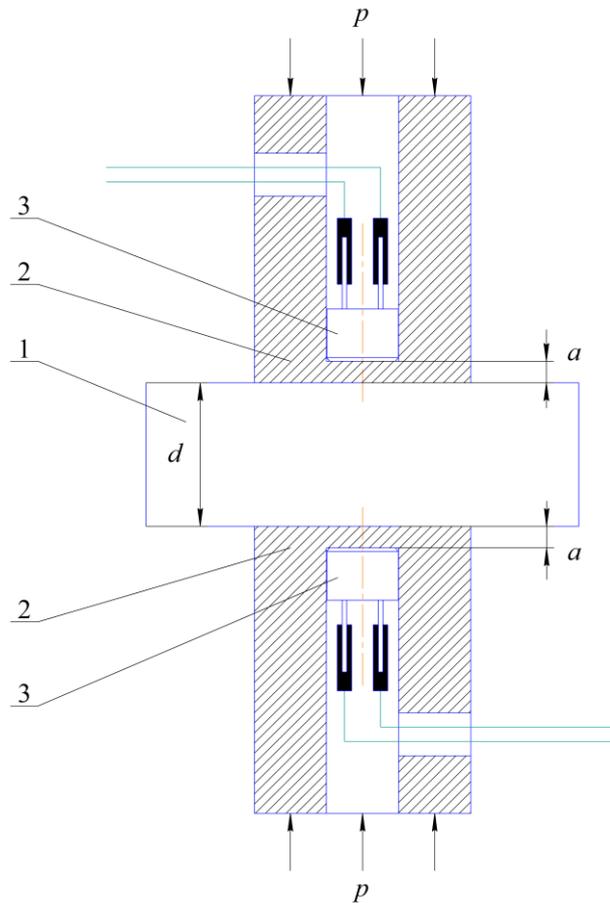


Рис. 1. Схема 1 вимірювання швидкості поздовжньої хвилі при нарузі, що прикладена вздовж напрямку поширення хвилі (1 – зразок; 2 – металеві пуансони; 3 – ультразвукові перетворювачі).

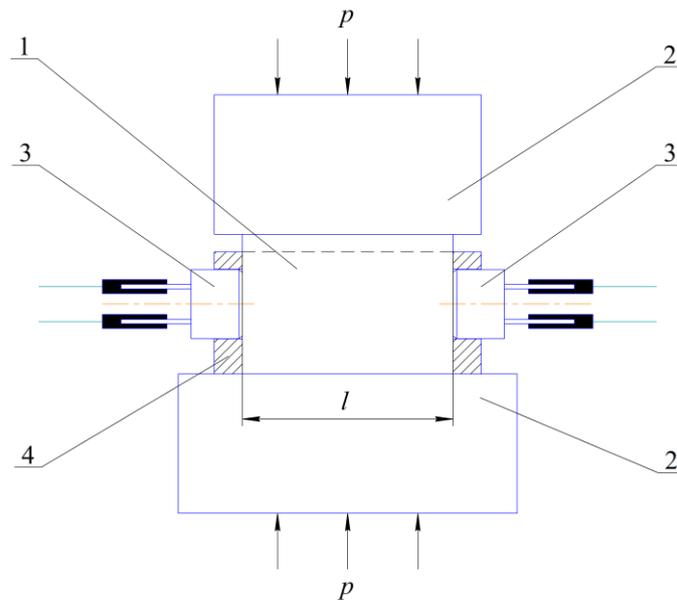


Рис. 2. Схема 2 вимірювання швидкості поздовжньої хвилі при напрузі, що прикладена перпендикулярно напрямку поширення хвилі (1 – зразок; 2 – металеві пуансони; 3 – ультразвукові перетворювачі; 4 – тримач ультразвукових перетворювачів).

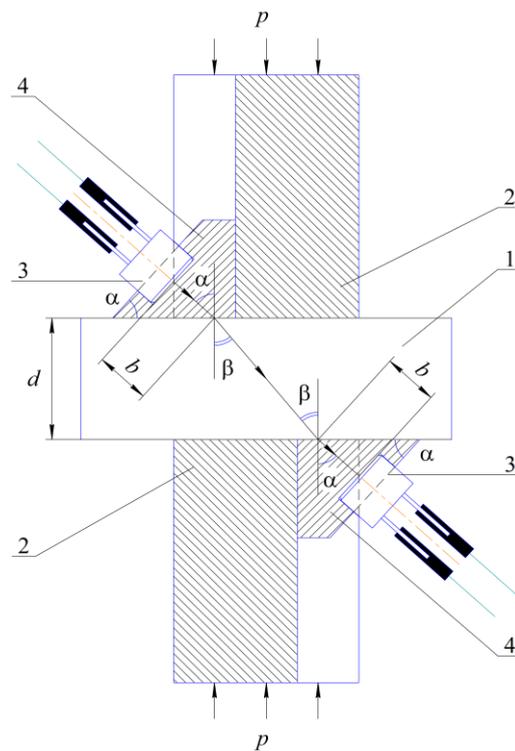


Рис. 3. Схема 3 вимірювання швидкості поперечної хвилі при напрузі, що прикладена під кутом до напрямку поширення хвилі (1 – зразок; 2 – металеві пуансони; 3 – ультразвукові перетворювачі; 4 – клин).

При відомих  $v_{l\parallel}$ ,  $v_{l\perp}$  та  $v_{t\angle}$ , проводили розрахували  $A$ ,  $B$  і  $C$  за співвідношеннями (1)–(3) та (1), (3), (4).

**КВАРЦЕВІ ГЕРМЕТИЗОВАНІ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІ**

**Назаренко Н.М.**, пошукувач, НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[n\\_nazarenko@kpi.ua](mailto:n_nazarenko@kpi.ua),

**Киричук Ю.В.**, д.т.н., професор, НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[kirichuky@gmail.com](mailto:kirichuky@gmail.com)

Використання досягнень сучасної мікроелектронної технології привело до значних успіхів у створенні різноманітних пристроїв контролю і управління. Проте часто отримання високих метрологічних характеристик апаратури досягається за рахунок підвищення її складності, габаритів, маси і вартості.

Для подальшого суттєвого підвищення якості первинних перетворювачів необхідно використовувати нові фізичні явища і пошук нових принципів реалізації пристроїв, які відзначаються багатофункціональністю, малою споживаною потужністю, стабільністю характеристик, високою чутливістю, підвищенню швидкодією і надійністю.

На сучасному рівні розвитку функціональної мікроелектроніки її досягнення можна використати для створення принципово нового класу частотних перетворювачів, які відповідають цим вимогам.

Розглянемо п'єзокварцові перетворювачі температури [1]. Ці герметизовані термоперетворювачі, у результаті заповнення корпусу високотеплопровідним газом - гелієм, застосування металевого корпусу та завдяки невеликим розмірам, мають меншу теплову інерційність, ніж вакуумні термоперетворювачі. У той же час, вакуумні термоперетворювачі характеризуються більш високою часовою стабільністю, добротністю та розділювальною здатністю.

Структурна схема п'єзокварцевого аналого-цифрового перетворювача температури [2] складається з трьох основних вузлів: чутливого елемента (ЧЕ), частотного перетворювача (ЧП) і спеціалізованого обчислювача (СО). Чутливий елемент і частотний перетворювач зв'язані провідним первинним каналом (ПК1), а частотний перетворювач і спеціалізований обчислювач — вторинним каналом (ВК).

Чутливий елемент, частотний перетворювач і первинний канал утворюють датчик температури з цифровою індикацією.

Датчик температури (ДТ), виконаний за диференціальною схемою. Спрощена структурна схема ДТ(Д) показана на рис.1 ДТ(Д) має один термочутливий кварцовий резонатор (ТКР) [3] як чутливий елемент з п'єзоелементом зрізу LC, кварцовий резонатор з п'єзоелементом зрізу і два генератори.

Частота сигналу ДТ визначається виразом:

$$f_{ДТ(Д)} = \Delta f_0 + \Delta f_{ДТ(П)},$$

де  $\Delta f_0 = f_{ДТ(П)_0} - f_{ОП}$  — різниця частоти сигналів двох генераторів при температурі  $0^\circ \text{C}$ ; частота КР  $f_{ОП}$  не залежить від температури,

$$\Delta f_{дт(n)} = f_{дт(n)} - f_{дт(n)_0} = \delta_f^l f_{дт(n)_0} \Delta\Theta = S\Delta\Theta.$$

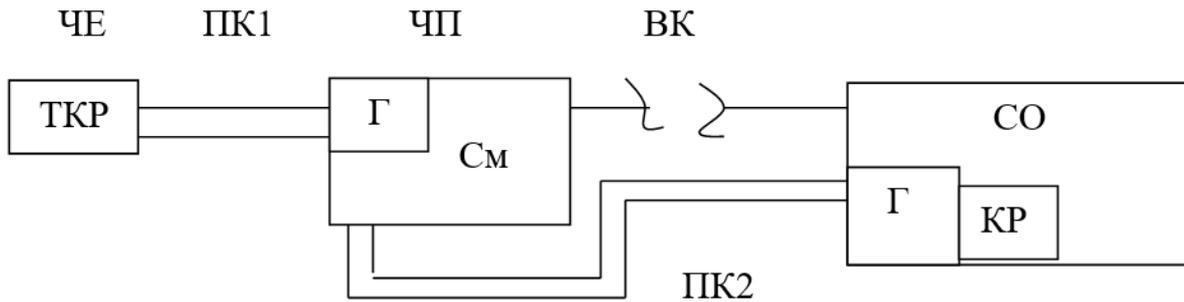


Рис. 1. Спрощена структурна схема датчика температури

Знак збільшення частоти  $\Delta f_{дт(n)}$  залежить від знаків  $\Delta\Theta$  і  $\delta_f^l$ ,

- якщо  $\text{sign } \delta_f^l = +1$  і  $\text{sign } \Delta\Theta = \pm 1$ , то  $\text{sign } \Delta f_{дт(n)} = \pm 1$ ,
- якщо  $\text{sign } \delta_f^l = -1$  і  $\text{sign } \Delta\Theta = \pm 1$  то  $\text{sign } \Delta f_{дт(n)} = \pm 1$ .

Вимір температури за допомогою термочутливих кварцових резонаторів [3] (ТКР) засновано на використанні анізотропії кристала кварцу. Вибираючи відповідну орієнтацію зрізу п'єзоелемента щодо кристалографічних осей, можна змінювати його термочастотну характеристику (ТЧХ), що у загальному випадку є нелінійною функцією температури.

При коливаннях зсуву по товщині частота резонатора визначається виразом [1]:

$$f = (n/2d)\sqrt{c/\rho} = (1/2 \cdot 0,341)\sqrt{69,83 \cdot 10^9 / 2,56} = 5000 \text{Гц.}, \quad (1)$$

де  $d$  — товщина п'єзоелементу;  $\rho$  — щільність кристала кварцу;  $z$  — константа пружності;  $n$  — номер гармоніки.

З вираз (1) при  $n = 1$  знаходимо відносну зміну частоти:

$$\delta_f = -\delta_d + (\delta_c - \delta_\rho)/2,$$

де  $\delta_d = \Delta d/d$ ,  $\delta_c = \Delta c/c$ ,  $\delta_\rho = \Delta \rho/\rho$  — відносні коефіцієнти відповідно лінійного розширення п'єзоелемента, константи пружності, щільності кристала кварцу.

Внаслідок анізотропії кристала кварцу коефіцієнти  $\delta_d, \delta_c$  і константа пружності  $C$  є функціями кута  $\phi$  — кута орієнтації зрізу п'єзоелемента щодо кристалографічних осей.

Константа пружності кварцу визначається виразом:

$$c = c_{66} \sin^2 \varphi + c_{44} \cos^2 \varphi - c_{14} \sin 2\varphi,$$

$$c = 40.60 \cdot 10^9 \cdot \sin^2 35 + 58.65 \cdot 10^9 \cdot \cos^2 35 - (-18.25 \cdot 10^9) \times$$

$$\times \sin 2 \cdot 35 = 69.83 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}.$$

де  $C_{66}, C_{44}, C_{14}$ — константи пружності по кристалографічних осях.

Відносний коефіцієнт лінійного розширення:

$$\delta_d = a_{33} - (a_{33} - a_{11}) \sin^2 \varphi =$$

$$= 7.87 \cdot 10^{-6} (7.87 \cdot 10^{-6} - 13.71 \cdot 10^{-6}) \sin 35 = 9.557 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1},$$

де  $a_{33}, a_{11}$ — коефіцієнти теплового розширення кварцу по кристалографічних осях.

Відносний коефіцієнт константи пружності:

$$\delta_c = (1/c) (c_{66} \Delta c_{66} \sin^2 \varphi + c_{44} \Delta c_{44} \cos^2 \varphi - c_{14} \Delta c_{14} \sin 2\varphi),$$

$$\delta_c = \left( \frac{1}{69.83 \cdot 10^9} \right) \cdot (40.60 \cdot 10^9 \cdot 178 \cdot 10^{-6} \cdot \sin^2 35 + 58.65 \cdot 10^9 \cdot (-177 \cdot 10^{-6}) \cdot \cos^2 35 -$$

$$- (-18.25 \cdot 10^9 \cdot 101 \cdot 10^{-6} \cdot \sin 2 \cdot 35)) = -5.57 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1},$$

де  $\Delta c_{66}, \Delta c_{44}, \Delta c_{14}$  - температурні коефіцієнти констант пружності кварцу по кристалографічних осях.

Відносна зміна частоти резонатора визначається виразом:

$$\delta_{f(\text{молу})} = -[a_{33} - (a_{33} - a_{11}) \sin^2 \varphi] + (c/2) (c_{66} \Delta c_{66} \sin^2 \varphi + c_{44} \Delta c_{44} \cos^2 \varphi -$$

$$- c_{14} \Delta c_{14} \sin 2\varphi) - \delta_\rho / 2,$$

$$\delta_{f(\text{молу})} = -[7,48 \cdot 10^{-6} - (7,48 \cdot 10^{-6} - 13,71 \cdot 10^{-6}) \sin^2 35] +$$

$$+ (1/69.83 \cdot 10^9) \cdot (40.60 \cdot 10^9 \cdot 178 \cdot 10^{-6} \cdot \sin^2 35 + 58.65 \cdot 10^9 \cdot$$

$$\cdot (-177 \cdot 10^{-6}) \cdot \cos^2 35 - (-18.25 \cdot 10^9) \cdot 101 \cdot 10^{-6} \cdot \sin 2 \cdot 35) - \frac{-34.92 \cdot 10^6}{2} =$$

$$= 17.46 \cdot 10^6 \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}.$$

### Література

1. Безвесільна О.М. Перетворюючі пристрої приладів та комп'ютеризованих систем (Технологічні вимірювання та прилади): навчальний посібник для студентів приладобудівних спец. ВНЗ / Безвесільна О.М., Киричук Ю.В.; Житомир. держ. технол. ун-т.— Житомир: ЖДТУ, 2008.— 172с.
2. Аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі — Режим доступу: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/firen/6bilynskij\\_elektronni\\_systemy/44.htm](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/firen/6bilynskij_elektronni_systemy/44.htm)
3. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 272 с.

## АНАЛОГОВИЙ ІНТЕРФЕС ДЛЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ

Орнатський Д.П., д.т.н., професор, НАУ, [ivs@nau.edu.ua](mailto:ivs@nau.edu.ua)

Вітрук Ю.В., к.т.н., доцент, НАУ, [ivs@nau.edu.ua](mailto:ivs@nau.edu.ua)

Добрянська Б.В., ст.викл., НАУ, [ivs@nau.edu.ua](mailto:ivs@nau.edu.ua)

Сьогодні, у зв'язку зі зменшенням природних джерел енергії та стрімким зростанням її споживання безперервно зростає попит на відновлювальні джерела енергії. Одним з найбільш перспективних напрямків вирішення цієї проблеми є використання вітроелектростанцій. Для збільшення їх ефективності потрібні комп'ютеризовані системи керування централізованого типу. Основними перевагами яких є економічність, при великій кількості вимірювальних каналів та їх розгалуженості у просторі. Але проблемним в цьому напрямку є поєднання високої швидкодії і точності вимірювання.

Для вирішення цієї проблеми запропонований аналогово-цифровий інтерфейс типу «аналогова шина», який може підтримувати Харт-протокол, структура якого представлена на рис. 1.

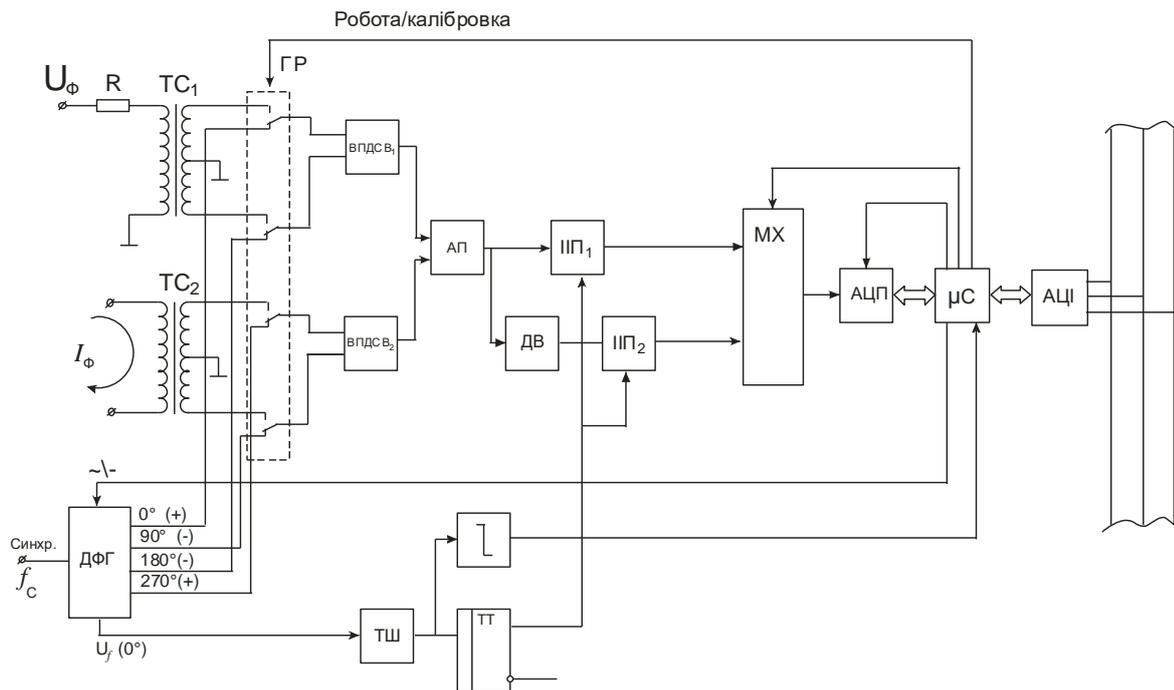


Рис. 1

На Рис. 1. ТС - трансформатор; ГР - герконове реле; ВПДСВ – вимірювальний підсилювач з диференціально-струмовими входами; ТШ – тригер Шмітта; ТТ – Т-тригер; – схема виділення від'ємного фронту; АП – аналоговий перемножувач; ІІП – ітераційний інтегруючий підсилювач; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; АЦІ – аналогово-цифровий інтерфейс; ДФГ

– двофазний генератор з парафазними керованими струмовими виходами;  $\mu\text{C}$  – мікроконтролер; МХ – аналоговий мультиплексор; ДВ – двонапівперіодний випрямляч змінного струму.

Схема складається з двох трансформаторів струму, з ідентичними диференціальними вихідними обмотками  $\text{ТС}_1$  і  $\text{ТС}_2$ , виконаних на феритових осереддях, що дає змогу покращити метрологічні характеристики вхідних сенсорів, які в основному спричиняється паразитними параметрами вторинних обмоток.

В якості підсилювачів, для збільшення заводо захищеності, використовуються вимірювальні підсилювачі з диференціально-струмовими входами (ВПДСВ). Вихідні напруги цих підсилювачів поступають на входи аналогового перемножувала (АП). Вихідний сигнал аналогового перемножувала (АП) використовується для отримання інформаційного сигналу пропорційного активній та повній потужності.

Вихідний сигнал пропорційний активній потужності формується на виході ітераційного інтегруючого перетворювача  $\text{ІП}_1$ , а вихідний сигнал повної потужності на виході  $\text{ІП}_2$ , на вході якого  $\text{ІП}_2$  включено двонапівперіодний випрямляч змінного струму (ДВ). При цьому  $\text{ІП}_1$  і  $\text{ІП}_2$  виконані по двоканальній схемі з використанням динамічних запам'ятовуючих пристроїв для покращення метрологічних характеристик.

Синхронізація ІП виконується вихідним сигналом двофазного генератора з парафазними керованими струмовими виходами (ДФГ), який охоплюється системою фазового автопідлаштування частоти (ФАПЧ) для синхронізації з мережевою напругою.

Канал синхронізації містить у собі тригер Шмітта (ТШ) і тригер з лічильниковим входом (ТТ), а також схему виділення від'ємного фронту вихідної напруги тригера Шмітта, яка подається на вхід запиту переривання мікроконтролера ( $\mu\text{C}$ ) для синхронізації роботи мультиплексора (МХ) та аналогово-цифрового перетворювача (АЦП).

Час обробки обох вхідних сигналів АЦП, з врахуванням роботи МХ не повинно перевищувати 10 мс. Для корекції систематичної складової похибки вимірювального каналу на вході  $\text{ВПДСВ}_1$  і  $\text{ВПДСВ}_2$  включені герконові реле переключального типу, які керуються сигналом мікроконтролера «робота/калібровка».

В режимі «робота» вони під'єднують входи вимірювальних підсилювачів  $\text{ВПДСВ}_1$  і  $\text{ВПДСВ}_2$  відповідно до виходів трансформаторів струму  $\text{ТС}_1$  і  $\text{ТС}_2$ , а в режимі «калібровка» до парафазних квадратурних виходів (ДФГ), при цьому калібровка відбувається в два етапи.

На першому етапі проводиться адитивний тест, для цього входи ВПДСВ<sub>1</sub> і ВПДСВ<sub>2</sub> підключаються до «землі». При цьому результат вимірювання вихідних напруг ІІІ<sub>1</sub> і ІІІ<sub>2</sub> запам'ятовується в пам'яті мікроконтролера, як  $U_{III_{10}}, U_{III_{20}}$  відповідно.

На другому етапі виконується мультиплікативний тест, при якому входи ВПДСВ<sub>1</sub> і ВПДСВ<sub>2</sub> підключаються до парафазних квадратурних виходів ДФГ ( $\varphi = 90^\circ$ ).

При цьому результат вимірювання вихідних напруг ІІІ<sub>1</sub> і ІІІ<sub>2</sub> запам'ятовується в пам'яті мікроконтролера, як  $U_{III_{12}}, U_{III_{22}}$  відповідно. Після цього на входи ВПДСВ<sub>1</sub> і ВПДСВ<sub>2</sub> потрапляють синфазні напруги ДФГ ( $\varphi = 0^\circ$ ). Скоригований результат обчислюється за формулою:

$$PX = \frac{(U_{III_{11}} - U_{III_{10}})/(U_{III_{13}} - U_{III_{10}})/(U_{III_{23}} - U_{III_{20}})}{1 - \operatorname{tg}[\arccos(U_{III_{12}} - U_{III_{10}})/(U_{III_{22}} - U_{III_{20}})]} \cdot \left( \frac{U_{III_{11}} - U_{III_{10}}}{U_{III_{21}} - U_{III_{20}}} \right) \quad (1),$$

де  $PX$  – скоригований результат;

$U_{III_{11}}, U_{III_{21}}$  – вихідні напруги ІІІ<sub>1</sub> і ІІІ<sub>2</sub> відповідно в режимі «робота»;

$U_{III_{12}}, U_{III_{22}}$  – вихідні напруги ІІІ<sub>1</sub> і ІІІ<sub>2</sub> відповідно в режимі «калібровка»

при  $\varphi = 90^\circ$ ;

$U_{III_{13}}, U_{III_{23}}$  – вихідні напруги ІІІ<sub>1</sub> і ІІІ<sub>2</sub> відповідно в режимі «калібровка»

при  $\varphi = 0^\circ$

Скоригований результат поступає на аналогово-цифровий інтерфейс типу «аналогова шина» з широкосмуговою частотною модуляцією, який дозволяє одночасно передавати цифрову інформацію. При цьому вимірювальна інформація передається диференціальним сигналом, а цифрова синфазним.

Перевага запропонованого інтерфейсу полягає в тому, що він дозволяє скоригувати, в тому числі, і частотні похибки вимірювального каналу.

### Література

1. Кизилев В.У. Аналоговые измерительные преобразователи мощности. – Измерения, контроль, автоматизация. 1976 № 1 (5).
2. Грем Д., Тобі Д. Проектирование и применение операционных усилителей. М: Мир, 1974.
3. Шейнголд Д. Справочник по нелинейным схемам. М: Мир, 1977.

## ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ МЕТАЛЕВИХ ПРУТКІВ

**Орнатський Д.П.**, д.т.н, професор, НАУ [nau\\_409@ukr.net](mailto:nau_409@ukr.net)  
**Кривокульська О.**, асистент кафедри КСЗІ, НАУ [kryvokul@ukr.net](mailto:kryvokul@ukr.net)

Параметри контролю металевих виробів із застосуванням методу неруйнівного контролю випробувань на основі електромагнітної індукції зараз широко поширені. Завдяки високій чутливості в широкому діапазоні частот є можливість контролювати механічні властивості, рівномірність матеріалу як магнітних, так і немагнітних матеріалів, безконечності, високу надійність, автоматизацію, управління процесом тощо.

Сучасні засоби детектування дефектів металів у переважній кількості призначені для наукових досліджень, однак мало уваги приділяється інструментам, які можуть бути використані в промислових процесах, через складний процес вимірювання в існуючих фондах та великий обсяг програмного забезпечення під час автоматичної обробки інформація. Потрібно створити систему для неруйнівного контролю металевих прутків, яка б забезпечила високі метрологічні характеристики широкому діапазоні частот роздільного вимірювання складових імпедансу датчика, методика обробки даних, яка дозволяє зменшення методичних похибок визначення основних характеристик вихідних сигналів вихрострумів датчиків.

Функціональна схема дефектоскопа з електронною моделлю датчика порівняння струмів представлена на Рис.1. Дефектоскоп може бути збалансованим регулюванням  $C_0, R_0$ , наприклад за допомогою аналогових перемножувачів умови рівноваги  $U_{\Sigma} = 0$  є частотно незалежним та взаємно незалежним при  $R_1 \cdot R_2 = \text{const}$ , що забезпечує швидке зрівноваження.

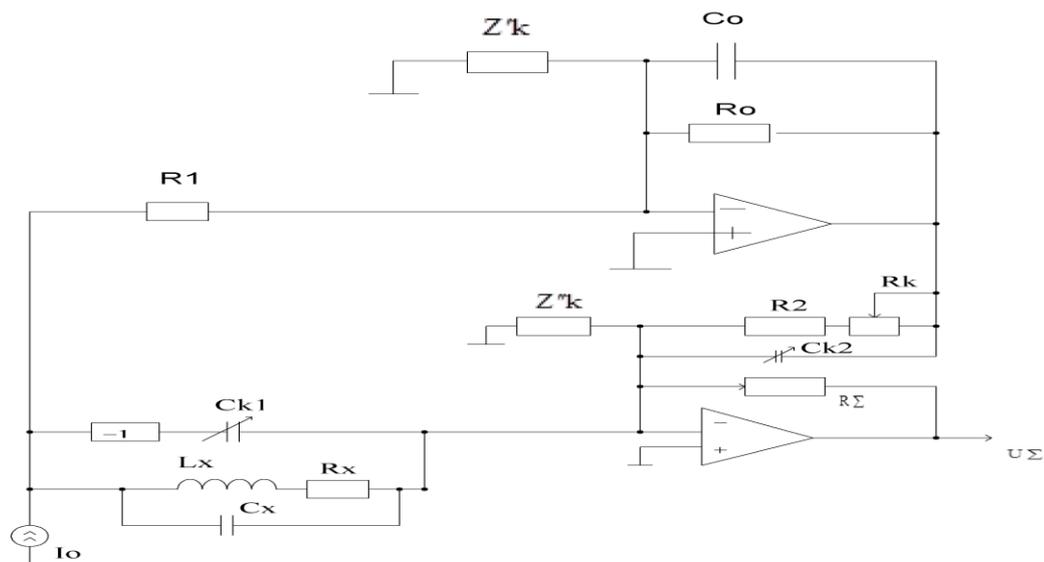


Рис.1 Компенсаційна схема з імітацією зразкової індуктивності на основі реального інтегратора з електронним регулюванням параметрів.

Дефектоскоп, що представлений на Рис.1 може бути збалансованим регулюванням  $C_0, R_0$  за умови рівноваги ( $U=0$ ) є частотно незалежним та взаємно незалежним при  $R_1 \cdot R_2 = \text{const}$ , що забезпечує швидке зрівноваження.

Для забезпечення високої точності зрівноваження необхідно зменшити вплив наступних факторів: паразитна ємність датчика  $C_{gj}$ ; синфазна напруга  $U_{\text{сф}}$  яка виникає через наявність корельованих шумів в напрузі зміщення операційних підсилювачів ОП1, ОП2 та через «спільні контури заземлення»;

зсув фаз, що виникає під дією операційного підсилювача ОП1 в робочому діапазоні частот.

Для зменшення впливу паразитної ємності датчика в структуру вимірювальної ланки було введено аналоговий інвертор, який послідовно з корелюючою ємністю  $C_k$  включено паралельно датчику. При цьому компенсація паразитної ємності датчика  $C_x$  відбувається наступним чином: спочатку на бездефектній зоні об'єкта вимірювання відбувається зрівноваження схеми шляхом регулювання конденсатора  $C_0$  та незалежне  $R_0$ , потім частота тестового сигналу збільшується і ми знову досягаємо рівноваги регулюванням конденсатора  $C_k$ , якщо при цьому частота тестового сигналу буде не менше ніж в 10 разів перевищувати максимальну частоту робочого діапазону системи, то похибка від паразитної ємності датчика буде менше однієї сотої відсотка (0,01%). Для того щоб зменшити похибку зумовлену синфазною напругою (рис.1) у синфазну необхідно досягти рівності коефіцієнтів шуму каскадів на ОП1, ОП2. Але така рівність може бути лише на постійному струмі, тобто коли всі опори є резисторами. Введення додаткових опорів  $z'_k, z''_k$ , але аналіз співвідношень  $K$  шуму 1,  $K$  шуму 2 можливо лише на фіксованих частотах, що не має практичного сенсу для того, щоб розширити діапазон частот треба використати схему з порівнянням напруг [4] (Рис.2)

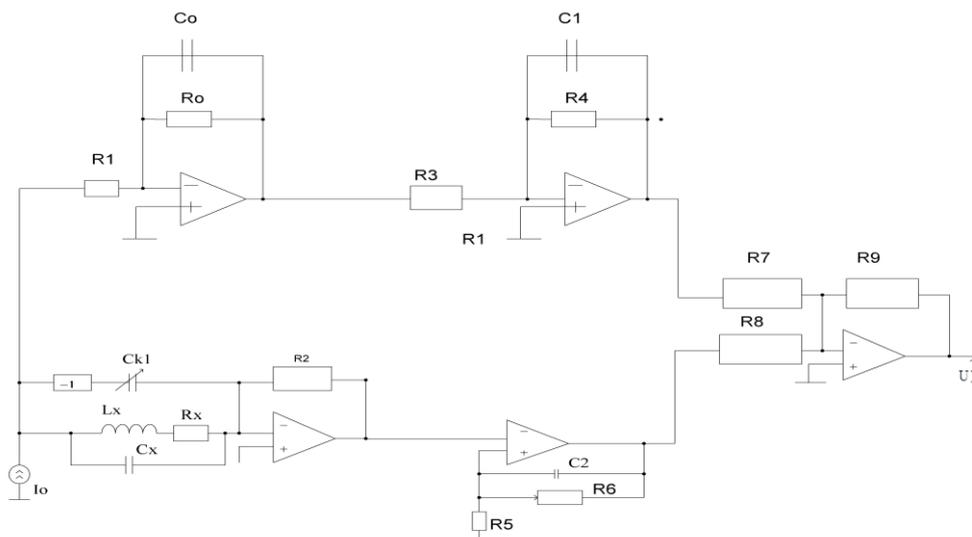


Рис.2 Схема дефектоскопа з порівнянням напруг

Компенсація паразитної ємності відбувається таким самим чином як і в попередньому випадку. А що до синфазної напруги то степінь її пригнічення

буде спричинитися неідентичністю зсуву фаз каскадами на ОП1, ОП3 та ОП2, ОП4.

Для забезпечення ідентичності фазочастотних характеристик на каскадних ОП3 та ОП4 мають бути такі

$$R_3 = R_4 = R_5 = R_6, \quad C_2 = 2C_1 \quad (1)$$

А для зменшення не ідентичності фазочастотних характеристик на каскадних ОП1 та ОП2

$$R_1 = R_2, \quad |z_g| = |z_0| \quad (2)$$

Коефіцієнт шуму :

$$K_{ш1} = \frac{R_1}{z_0 + R_1} \quad (3)$$

$$K_{ш2} = \frac{z_g}{z_g + R_2} \quad (4)$$

$$\frac{R_2}{z_g} = \frac{z_0}{R_1} \quad (5)$$

$$R_2 = \frac{z_0 \cdot z_g}{R_1} \quad (6)$$

$$K_{ш2} = \frac{z_g}{z_g + \frac{z_0 \cdot z_g}{R_1}} = \frac{z_y R_1}{z_y R_1 + z_0 \cdot z_g} = \frac{R_1}{R_1 + z_0} = K_{ш1} \quad (7)$$

В стані рівноваги  $K_{ш2} = K_{ш1}$  в широкому діапазоні частот.

Таким чином запропонована схема дозволяє в широкому діапазоні частот компенсувати основні методичні похибки вихрострумове дефектоскопу мостового типу з електронним імітатором зразкової індуктивності.

### Література

1. Накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання / В.М.Учанін.-Львів:СПЛОМ,2013.-268
2. Экспериментальная механика: В 2-х книгах: Книга 1. Э41 Пер. с англ./Под ред.А.Кабаяси.-М.:Мир,1990.-616ст.
3. Экспериментальная механика: В 2-х книгах: Книга 2. Э41 Пер. с англ./Под ред.А.Кабаяси.-М.:Мир,1990.-616ст.
4. Вимірювальні засоби сигналів акустичної емісії при дослідженні процесу частотного точіння алюмінієвих сплавів/Вологдіна О., Девін Л., Німченко Т., Орнатський Д.-. Восточно-Європейський журнал передових технологій.-2005.-№6(18).-С.127-130.

## МЕТОДИ ВЕЙВЛЕТ-КОДУВАННЯ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ З ВИМІРЮВАЛЬНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ ПРО ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ОБ'ЄКТІВ

**Подчашинський Ю.О.**, д.т.н., проф., Державний університет «Житомирська політехніка», [ju.podchashinskiy@gmail.com](mailto:ju.podchashinskiy@gmail.com)

**Воронова Т.С.**, асистент, Державний університет «Житомирська політехніка»,  
[aust\\_vts@ztu.edu.ua](mailto:aust_vts@ztu.edu.ua),

**Чепюк Л.О.**, к.т.н., Державний університет «Житомирська політехніка»,  
[traveller2762@gmail.com](mailto:traveller2762@gmail.com)

Двомірне вейвлет-перетворення (ВП) можна представити як послідовність вертикальних і горизонтальних високочастотних і низькочастотних операторів, що застосовуються до відео зображення з вимірювальною інформацією про геометричні параметри об'єктів. Існує чотири варіанта композиції операторів: композиція вертикального високочастотного і горизонтального високочастотного ( $HH_x$ ); композиція вертикального високочастотного і горизонтального низькочастотного ( $LH_x$ ); композиція вертикального низькочастотного і горизонтального високочастотного ( $HL_x$ ); композиція вертикального низькочастотного і горизонтального низькочастотного ( $LL_x$ ) [1,2]. Схема на рис. 1. показує розміщення результатів дії цих операторів в масиві ВП. Ці блоки можуть бути структуровані у дерево, як показано на рис. 2. Кожен коефіцієнт у блоці має чотири «дочірніх» у відповідних блоках наступного рівня. Наприклад, на рис. 1 представлено ВП зображення  $8 \times 8$ , де  $LL_3$ ,  $HH_3$ ,  $HL_3$  і  $LH_3$  – це блоки  $1 \times 1$ ,  $HH_2$ ,  $HL_2$  і  $LH_2$  – блоки  $2 \times 2$  і  $HH_1$ ,  $HL_1$  і  $LH_1$  – блоки  $4 \times 4$ .

$LL_3$	$LH_3$	$LH_2$	$LH_1$
$HL_3$	$HH_3$		
$HL_2$		$HH_2$	
$HL_1$		$HH_1$	

Рис. 1 Структура вейвлет-піддерева

В оригінальній реалізації вейвлет нуль-дерева Льюїса і Ноулеса 0 співставляє всім нащадкам коефіцієнтів, що квантуються до нуля [1]. Цей метод можна розглядати як вид кодування довжин послідовностей. Він набагато ефективніше традиційного кодування довжин послідовностей нулів – в ньому не потрібно кодування довжин послідовностей нулів. Однак, ці коефіцієнти в структурі піддерева, що квантується до нуля, ймовірно, будуть мати нащадків, що також квантуються до нуля, так само ймовірно, і що вони будуть мати

значимих ненульових нащадків. Ця можливість додає похибки у метод нуль-деревця Льюїса і Ноулеса. Шапиро запропонував модифікований метод кодування з нуль-деревцем, що враховує можливість ізольованих нулів [1]. Сейд і Пілман запропонували удосконалений варіант кодування з нуль-деревцем, що називається «розбиття множини у ієрархічних деревах».

Сенс введення структури дерева в тому, що, як правило, коефіцієнти у блоках на різних рівнях мають значну степінь подібності. Тобто дочірні коефіцієнти на деякому рівні, ймовірно, будуть схожими на своїх «батьків», що знаходяться на попередньому рівні. Досить поширений випадок, коли коефіцієнт квантується до нуля, то і його дочірні коефіцієнти також квантуються до нуля. Це спостереження покладено в основу так званого вейвлет-кодування з нуль-деревцем, вперше застосованого Льюїсом і Ноулесом [1].

Розглянемо алгоритм кодування, що використовує перевагу структури вейвлет-піддеревця, що показаний на рис. 2. Цей алгоритм швидкий, дає гарну степінь стиснення і якість декодованого зображення і має важливу властивість забезпечувати прогресивну передачу (закодована інформація зберігається, а нащадок передається таким чином, що проміжний варіант зображення, що передається, містить повне наближення до кінцевого зображення).

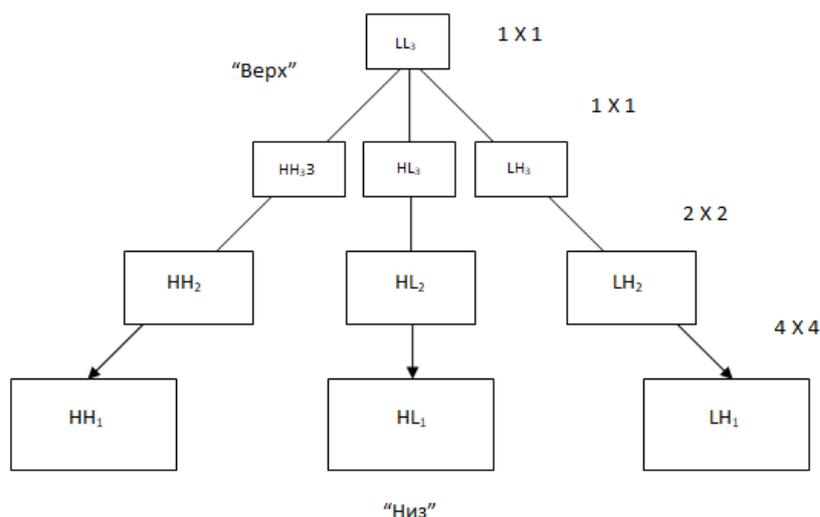


Рис. 2. Блоки вейвлет-піддеревця, впорядковані у структуру дерева

Розглянемо піддіапазони дерева HH, HL і LH. Низькочастотні (LL) елементи зосереджуються в області найбільших по модулю коефіцієнтів. Будемо записувати значення цих виразів без кодування.

При переміщенні зверху вниз (рис. 1) кожний блок на наступному, нижньому рівні у кожному діапазоні має вдвічі більше рядків і стовпців, чим блок на попередньому рівні. Таким чином, кожний блок на наступному рівні має вчетверо більше коефіцієнтів, чим блок на попередньому рівні. Кожний коефіцієнт у даному блоці, окрім самого нижнього блока, має чотирьох «нащадків» у відповідних точках у блоці під ним. Чотири безпосередніх «нащадки» коефіцієнта у точці  $(i, j)$  що розташовуються у точках  $(2i-1, 2j-1)$ ,  $(2i-1, 2j)$ ,  $(2i, 2j-1)$  і  $(2i, 2j)$ . Це відношення показано на рис. 3. Всі елементи у піддереві

під коефіцієнтом будуть являтися нащадками цього коефіцієнта (тобто там будуть його безпосередні нащадки, нащадки його нащадків і т. п.). Аналогічно, коефіцієнт являється батьковим для всіх нащадків у піддереві під ним.

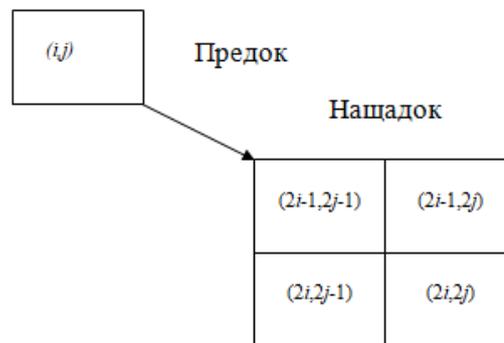


Рис. 3. Схема блоків коефіцієнтів

Щоб відслідкувати етап обробки зображення, створюється символний масив того ж розміру, що і зображення. Кожний елемент символного масиву перед початком кожного порівняння з пороговим значенням вважаємо рівним «0» (елемент ще не оброблявся). Для позначення елемента, що обробляється будемо використовувати множину із п'яти символів: **POS** – відповідний вейвлет коефіцієнт після проходження порога є значущим і позитивним; **NEG** – відповідний вейвлет-коефіцієнт після проходження порогу є значущим і негативним; **IZ** – і зольований «0», відповідний вейвлет-коефіцієнт після проходження порога є незначущими, але має значних нащадків у піддереві під ним; **ZR** – корінь нуль-дерева, відповідний вейвлет-коефіцієнт після проходження порогу є незначущим, все піддерево нащадків цього коефіцієнта містить тільки незначущі коефіцієнти; **ZT** – незначущий нащадок коефіцієнт, є коренем нуль-дерева.

У вихідний файл записуються тільки чотири символи: POS, NEG, IZ і ZR. При декодуванні символи ZT розкриваються, щоб заповнити свої ненульові піддерева, тому записувати їх у файл немає необхідності. Таким чином, можна використовувати по два біти на кожен із чотирьох символів. Можна виписувати символи після кожного проходження порогу, і, таким чином, необхідно зберігати у пам'яті всього один символний масив, а не по окремому масиву для кожного порогового значення.

### Література

1. С. Уэлстид. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображения в действии. Учеб. пособие: -М.: Издательство Триумф, 2003 – 320с.
2. Подчашинський Ю.О. Стиснення та перетворення цифрових відеозображень з вимірювальною інформацією про геометричні параметри об'єктів: монографія. Житомир: Житомирський державний технологічний університет (ЖДТУ), 2019. – 200 с.

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕКСТУР ПОВЕРХНІ ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБІВ

**Подчашинський Ю.О.**, д.т.н., проф., Державний університет «Житомирська політехніка», [ju.podchashinskiy@gmail.com](mailto:ju.podchashinskiy@gmail.com)

**Чепюк Л.О.**, к.т.н., Державний університет «Житомирська політехніка», [traveller2762@gmail.com](mailto:traveller2762@gmail.com)

**Шавурська Л.Й.**, асистент, Державний університет «Житомирська політехніка», [23061960s@gmail.com](mailto:23061960s@gmail.com)

Для визначення геометричних параметрів текстури поверхні промислових виробів використовуються три підходи: структурний, спектральний і статистичний. Для виміру й опису текстур зображень поверхні застосовуються ряд методів. Серед них можна виділити наступні групи [1,3]:

- методи, засновані на вимірі просторової частоти (у дрібнозернистих текстурах переважають високі, а в грубозернистих текстурах - низькі просторові частоти);
- методи, засновані на обчисленні кількості перепадів на одиницю площі зображення (на грубозернистих текстурах ця величина мала, зі зменшенням зернистості текстури вона зростає);
- методи, що використовують матрицю суміжності значень яскравості (з ростом відстані між оцінюваними точками, у грубозернистих текстурах зміна розподілу яскравості відбувається значно повільніше чим у дрібнозернисті);
- методи, що описують текстури довжинами серій (рядка з постійною яскравістю точок, на грубозернистих текстурах ці серії довші чим на дрібнозернисті);
- авторегресійні методи для опису текстури використовують коефіцієнти лінійних оцінок яскравості точкового елемента зображення за заданим значенням елементів деякої його околиці (ці коефіцієнти майже однакові для грубозернистих й істотно різні для дрібнозернистих текстур);
- методи, засновані на гістограмі просторової різниці яскравостей;
- методи, що відшукують регулярність у формі структурних елементів;
- методи, засновані на аналізі мікроструктури текстурного поля.

Як основна характеристика текстури була запропонована просторова автокореляційна функція [2]:

$$A(\varepsilon, \eta; j, k) = \frac{\sum_{m=j-W}^{j+W} \sum_{n=k-W}^{k+W} F(m, n) F(m - \varepsilon, n - \eta)}{\sum_{m=j-W}^{j+W} \sum_{n=k-W}^{k+W} |F(m, n)|^2}. \quad (1)$$

Вона обчислює на вікні розміром  $(2W + 1) \times (2W + 1)$  для кожної точки зображення  $(j, k)$  і при зсувах  $\varepsilon, \eta = 0, \pm 1, \pm 2, \dots T$ . Передбачається, що при фіксованому зрушенні  $(\varepsilon, \eta)$  області грубозернистої текстури буде відповідати

більше високе значення кореляційної функції, чим області дрібнозернистої текстури. Таким чином, розмір зерна текстури пропорційний ширині автокореляційної функції. Однією з можливих мір ширини автокореляції є другий момент:

$$T(j, k) = \sum_{\varepsilon=-T}^T \sum_{\eta=-T}^T \varepsilon^2 \eta^2 A(\varepsilon, \eta; j, k). \quad (2)$$

Розенфельд і Трой [2] запропонували в якості текстурної ознаки використати число перепадів яскравості в околиці точки. Спочатку за допомогою деякої системи виявлення перепадів створюється контурний препарат  $E(j, k)$ , такий, що  $E(j, k) = 1$  для виявленої точки перепаду й  $E(j, k) = 0$  в протилежному випадку. Звичайно поріг виявлення встановлюється нижче, ніж у випадку виділення граничних точок областей постійної яскравості.

Потім формується текстурна ознака:

$$T(j, k) = \left[ 1 / (2W + 1)^2 \right] \sum_{m=j-W}^{j+W} \sum_{n=k-W}^{k+W} E(m, n), \quad (3)$$

що обчислює на вікні розміром  $(2W + 1) \times (2W + 1)$  для кожної розглянутої точки зображення.

Харалік, Шанмуган і Дінштейн [2] запропонували ряд текстурних ознак, заснованих на властивостях гістограми розподілу частот спільних значень яскравості пари елементів зображення. Якщо на зображенні є область із дрібною текстурою, то ця гістограма буде близька до однорідного, а для грубої текстури виявиться зосередженої уздовж діагоналі. Розглянемо пари елементів зображення  $F(j, k)$  та  $F(m, n)$  відстань між якими визначається вектором з модулем  $r$  і кутом  $\theta$  щодо горизонтальної осі. Нехай  $P(a, b; j, k, r, \theta)$  розподіл частот, вимірюване у вікні розміром  $(2W + 1) \times (2W + 1)$ , де значення яскравості квантовані в діапазоні  $0 \leq a, b \leq L - 1$ . Цей розподіл можна розглядати як оцінку спільного розподілу ймовірностей:

$$P(a, b; j, k; r, \theta) \approx \Pr\{F(j, k) = a, F(m, n) = b\}. \quad (4)$$

Для кожного набору параметрів  $(j, k, r, \theta)$  розподіл частот можна розглядати як масив з  $L \times L$  чисел, що визначає ступінь статистичної залежності пара елементів зображення. Такі масиви називаються матрицями яскравості залежності або матрицями суміжності. Розподіл, представлений у вигляді масиву з  $L \times L$  чисел, необхідно запам'ятовувати для кожної крапки зображення  $(j, k)$  і для кожного набору значень  $(r, \theta)$ , тому з погляду зменшення обчислювальних операцій необхідно обмежити кут і модуль вектора відстані невеликою кількістю дискретних значень.

Time-series модель розглядає періодичність у просторовому скануванні зображення. У процесі сканування, кожен наступний піксель  $V_{N+1}$  визначається на основі попередніх -  $V_1 \dots V_N$ . Текстурне поле моделюється построчно, піксель за пікселем, поки всі рядки не будуть заповнені. Недоліком такої моделі є те, що вона погано описує структуру текстури в напрямку (напрямах) перпендикулярних скануванню.

Для моделювання натуральних коміркових текстур використовується коміркова модель. Моделювання відбувається у два етапи. На першому текстурне полі розділяється на деяку кількість осередків і для кожної з них обчислюється центр інерції (ядро). На другому етапі відбувається послідовне сканування зображення й порівняння відстані від точки до всіх центрів інерції. У результаті піксель призначається в групу, що відповідає найближчому ядру.

Проведені експерименти показали гарну візуальна подібність змодельованої текстури з натуральною комірковою текстурою.

Синтаксичні текстурні моделі порівнюють символи формальної граматики зі структурними примітивами текстури. Для моделювання текстур були розширені й перероблені ряд правил граматики стосовно до теорії імовірності. Синтаксичні моделі застосовуються для опису сильно структурованих текстур.

Двовимірна модель випадкового марковського поля розглядає умовні імовірності яскравостей на елементарному текстурному зразку. Марковські властивості модифікуються визначенням перехідної імовірності на околиці суміжних або несуміжних точок. Цей метод досяг гарних результатів у моделюванні прототипів текстур. Однак він практично не застосовується на практиці у зв'язку з більшим розміром моделі (кількість умовних ймовірностей дорівнює  $G^S$ , якщо  $G$  - кількість рівнів яскравості, а  $S$  - кількість розглянутих (зв'язаних) точок).

До цієї групи методів можна також віднести метод цифрових перетворень. При аналізі текстури цим методом зображення розбивають на невеликі непересічні квадратні фрагменти розміру  $n*n$  пікселів. Отримані в такий спосіб  $n^2$ -мірні вектори при перетворенні виражають у деякій новій системі координат. У перетворенні Фур'є використовується базис із тригонометричних функцій синус і косинус, у перетворенні Адамара - базис із функцій Уолша й т.п. Суть перетворень у тому, що базисні вектори нової координатної системи добре інтерпретуються в термінах просторової частоти або порядку проходження.

### Література

1. Гонсалес Р. Вудс Р. Цифровая обработка изображений: Издательство Техносфера, 2006. – 1070 с.

2. Претт У. Цифровая обработка изображений: Пер. з англ. - М.: Мир, 1982.-792с.

3. Безвесільна О.М., Подчашинський Ю. О. Інформаційно-комп'ютерні системи та технології. Наукові дослідження в галузі вимірювання механічних величин. Підручник. Житомир: ЖДТУ, 2007. - 320с.: іл.

## ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ КЛАСИФІКАЦІЇ МІКРОПЛАНКТОНУ ПРИ НЕПЕРЕРВНОМУ ВИМІРЮВАННІ ЙОГО КОНЦЕНТРАЦІЇ

Реут Д.Т., ст. викладач

Древецький В.В., д.т.н., професор,

Національний університет водного господарства та природокористування

[d.t.reut@nuwm.edu.ua](mailto:d.t.reut@nuwm.edu.ua)

Актуальним завданням моніторингу навколишнього середовища є контроль стану поверхневих вод. Визначення видового та кількісного складу мікропланктону як біологічного показника якості вимагає фільтрування заданого об'єму води та доставки отриманої проби в лабораторію. Виконання даного аналізу автоматичним пристроєм безпосередньо в точці забору води дозволяє значно зменшити сумарний час виконання аналізу.

Відомі пристрої та системи автоматизованої мікроскопії досліджуваної води дозволяють виконувати класифікацію організмів мікропланктону, що знаходяться як в нерухомій пробі, так і в потоці води. До останніх відносяться пристрій (рис. 1), що використовує нечітку логіку для класифікації мікроорганізмів [1]. Для підвищення точності класифікації організмів мікропланктону запропоновано використовувати штучну нейронну мережу, яка, на відміну від відомих пристроїв, враховує власний рух мікроорганізмів у воді.

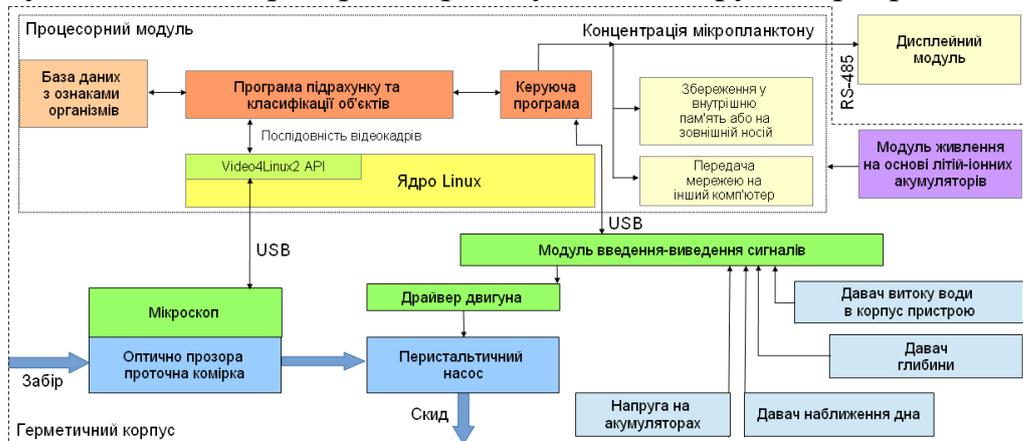


Рис. 1. Структурна схема пристрою

Для класифікації мікроорганізмів використані їх параметри: абсолютні довжина та ширина, відносна ширина (відношення ширини об'єкта до довжини), еквівалентний діаметр, коефіцієнт випуклості, коефіцієнт заповнення, компактність, радіус середньої лінії, середній колір, швидкість руху відносно потоку, швидкість зміни довжини, багатоклітинність.

При вимірюванні концентрації мікропланктону пристроєм виконуються наступні операції: 1) отримання кадру з мікроскопу; 2) перетворення кольорового зображення в одноканальне (відтінки сірого); 3) перетворення зображення з відтінків сірого в бінарне (чорно-біле) застосуванням порогового фільтра; 4) виділення замкнених контурів; 5) визначення координат центрів контурів; 6) пошук нових, оновлення координат існуючих та видалення зниклих

контурів порівнянням з координатами об'єктів дослідження на попередньому кадрі; 7) визначення переміщення об'єктів за час між сусідніми кадрами; 8) обчислення швидкості об'єкта та всього потоку води, та регулювання витрати води для отримання чітких відеокadrів; 9) обчислення параметрів об'єктів у кадрі; 10) обчислення виходів штучної нейронної мережі; 11) обчислення концентрації кожної класифікаційної групи мікропланктону як відношення кількості розпізнаних екземплярів до об'єму води, що пройшов у фокусі мікроскопа.

На входи штучної нейронної мережі подаються ті самі параметри, що оброблялись нечіткою логікою з метою класифікації. Кількість виходів нейронної мережі дорівнювала кількості класифікаційних груп мікроорганізмів, які розрізняла нейронна мережа. Виходи нейронної мережі набували значень з діапазону  $[0...1]$ , які характеризували ймовірність того, що аналізований об'єкт належить до відповідної класифікаційної групи. Використана двошарова однонапрявлена штучна нейронна мережа прямого розповсюдження без елементів затримок та зворотних зв'язків. Навчання штучної нейронної мережі вимагало створення більшого набору даних для навчання, ніж при створенні бази нечітких логічних правил.

Польові випробування пристрою з вдосконаленим алгоритмом розпізнавання проводились на р. Устя м. Рівне. Середня кількість успішних розпізнавань мікроорганізмів за допомогою штучної нейронної мережі перевищувала середню кількість успішних розпізнавань з використанням нечіткої логіки на 8 % (табл. 1). За істинний результат класифікації в обох випадках прийнято результат ручної класифікації кожного мікроорганізму.

Таблиця 1. Порівняння точності класифікації мікропланктону

Класифікаційна група (вид, рід)	Правильно класифіковано, % від загальної кількості	
	Нечітка логіка	Нейронна мережа
<i>Amoeba proteus</i>	84	89
<i>Chlorella</i>	97	98
<i>Coelastrum microporum</i>	75	87
<i>Cyclops varius</i>	100	100
<i>Euglena viridis</i>	95	99
<i>Paramecium caudatum</i>	85	95
<i>Pediastrum duplex</i>	48	75
<i>Trachelomonas volvocina</i>	87	92
<i>Ulothrix zonata</i>	96	96
Середнє	85	92

Застосування даного методу дозволяє підвищити точність вимірювання концентрації мікропланктону шляхом підвищення точності класифікації організмів мікропланктону, що містяться в потоці досліджуваної води.

### Література

1. Реут Д. Т. Пристрій для визначення біологічних показників якості поверхневих вод / Д. Т. Реут, В. В. Древецький // Методи та прилади контролю якості. - 2016. - № 2. - С. 38-43.

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ДВОФАЗНОГО ПОТОКУ НА ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР ПРИ КОНДЕНСАЦІЇ ХОЛОДОАГЕНТІВ У СЕРЕДИНІ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ТРУБ

**Серета В.В.**, к.т.н., доц., НТУ України «КПІ ім. І.Сікорського»,  
[volodya.81.vs@gmail.com](mailto:volodya.81.vs@gmail.com)

**Горін В.В.**, к.т.н., с.н.с., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, [gorin53@ukr.net](mailto:gorin53@ukr.net)

До загальних втрати тиску входять втрати тиску на тертя у двофазному потоці і втрати тиску на прискорення. Найскладнішим питанням у разі створення емпіричних залежностей стосовно розрахунку тепловіддачі є визначення втрат тиску на тертя, а саме визначення методів їх розрахунку.

Найпоширенішим методом визначення втрат тиску на тертя є метод Локарта-Мартінееллі з праці [1], параметри якого визначаються за рівнянням:

$$(\Delta P/\Delta z)_f = \Phi_v^2 (\Delta P/\Delta z)_v = \Phi_l^2 (\Delta P/\Delta z)_l, \quad (1)$$

де  $\Phi_v^2$  і  $\Phi_l^2$  є множниками для визначення впливу двофазності потоку на втрати тиску на тертя і коефіцієнт тертя  $C_f$ , а також є функціями безрозмірного параметра Мартінееллі  $X_u$ .

Нами, для порівняння розрахунку множника  $\Phi_v^2$  було використано п'ять найбільш поширених кореляцій з робіт [2] (2), [3] (3), [4] (4), [5] (5) і [6] (6). Вибір цих формул зумовлений тим, що вони достатньо часто використовуються науковцями щодо урахування впливу двофазності потоку на втрати тиску на тертя.

$$\Phi_v^2 = 1 + 9,4 X_u^{0,62} + 0,564 X_u^{2,45}. \quad (2)$$

$$\Phi_v^2 = (1 + 2,85 X_u^{0,523})^2. \quad (3)$$

$$\Phi_v^2 = \left\{ 1 + 0,5 \left[ \frac{G}{gd \rho_v (\rho_l - \rho_v)^{0,5}} \right]^{0,75} X_u^{0,36} \right\}^2. \quad (4)$$

$$\Phi_v^2 = 1 + C X_u^n + X_u^2, \quad (5)$$

$$\Phi_v = 1 + 1,43 \left( \frac{G}{\sqrt{\rho_v \rho_l}} \right)^{0,76} X_u^{0,37}. \quad (6)$$

У якості вихідних даних, для розрахунку множника  $\Phi_v^2$ , були обрані результати експериментів по конденсації холодоагентів із відомої праці Кавалліні із співавторами [7].

На рис. 1–4, у вигляді функції  $\Phi_v^2 = f(X_u)$ , наведено результати обчислення множника  $\Phi_v^2$  із використанням кореляцій (2–5) за даними з праці [7]

для холодоагентів R22, R134а, R32 і R410А при масовій швидкості потоку  $G = 400 \text{ кг}/(\text{м}^2\text{с})$  і температури конденсації  $t_c = 40^\circ\text{C}$ .

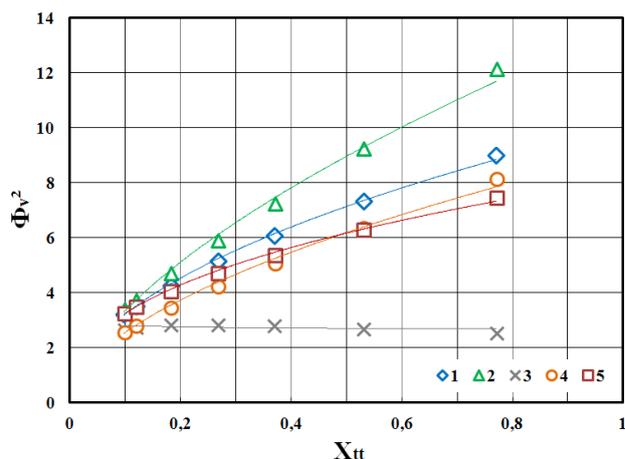


Рис. 1.  $\Phi_v^2 = f(X_{tt})$  для R22:  
1 – (2); 2 – (3); 3 – (4); 4 – (5); 5 – (6)

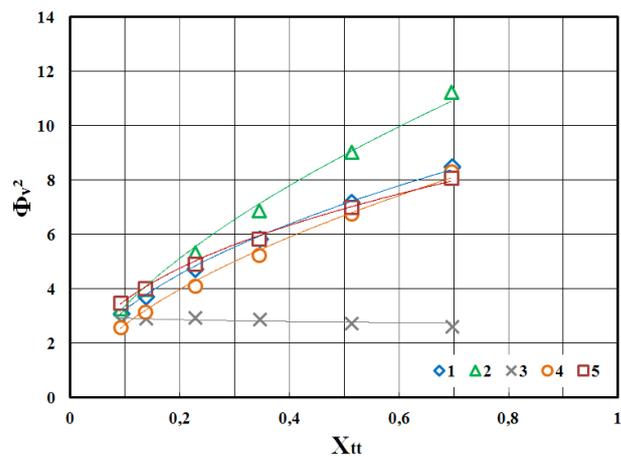


Рис. 2.  $\Phi_v^2 = f(X_{tt})$  для R134а:  
1 – (2); 2 – (3); 3 – (4); 4 – (5); 5 – (6)

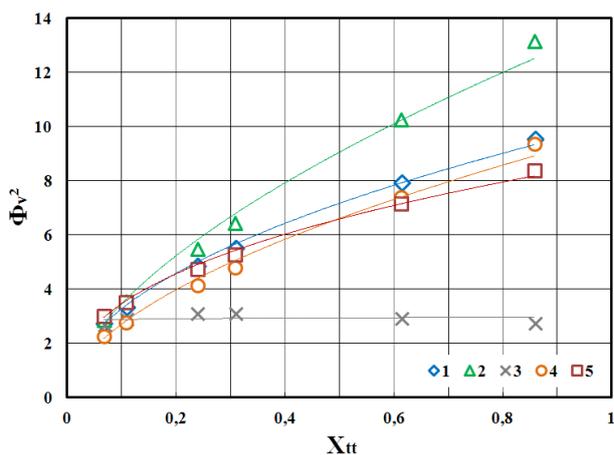


Рис. 3.  $\Phi_v^2 = f(X_{tt})$  для R32:  
1 – (2); 2 – (3); 3 – (4); 4 – (5); 5 – (6)

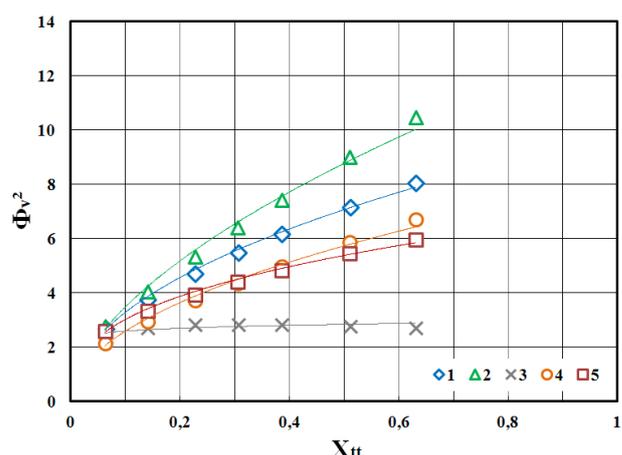


Рис. 4.  $\Phi_v^2 = f(X_{tt})$  для R410А:  
1 – (2); 2 – (3); 3 – (4); 4 – (5); 5 – (6)

Із рис. 1–4 видно, що значення множника двофазності потоку  $\Phi_v^2$  збільшується зі збільшенням параметру Мартінееллі  $X_{tt}$ .

З огляду на наведені графіки видно, що кореляції (2), (5) і (6) дають майже однакові результати, що доводить про значну залежність  $\Phi_v^2$  від параметрів двофазного потоку, основними з яких є густина пари  $\rho_v$  і рідини  $\rho_l$  та масовий паровміст  $x$ . У разі обчислення за залежністю (3) за усіма даними спостерігають завищені результати у порівнянні з іншими розрахунками. Натомість розрахунки за залежністю (4) доводять, що двофазність потоку у цьому випадку не впливає на значення множника  $\Phi_v^2$ . Слід додати, що до кореляції (5) входить критерій  $Vo$ ,

який урахує вплив сили поверхневого натягу на коефіцієнт тертя  $C_{f_0}$ , і який входить до формули обчислення втрат тиску.

Таким чином, із наведених рис. 2–4 видно, що розрахунки за формулами (2) і (5) мають однаковий вплив на значення множника  $\Phi_v^2$  при конденсації холодоагентів у середині труби.

Наступним кроком, після обчислення множника двофазності потоку, проведено порівняльний розрахунок гідравлічного опору тертя  $(\Delta P/\Delta z)_f$  під час конденсації у середині труб за експериментальними даними з роботи [76] за формулою:

$$\Delta P_f = 2C_{f_0}\rho_v w_v^2 \frac{l}{d} \Phi_v^2. \quad (7)$$

де  $C_{f_0} = 0,079/\text{Re}_v^{0,25}$  - коефіцієнт тертя під час однофазної течії,  $\text{Re}_v = w_v d_i / \nu_v$ .

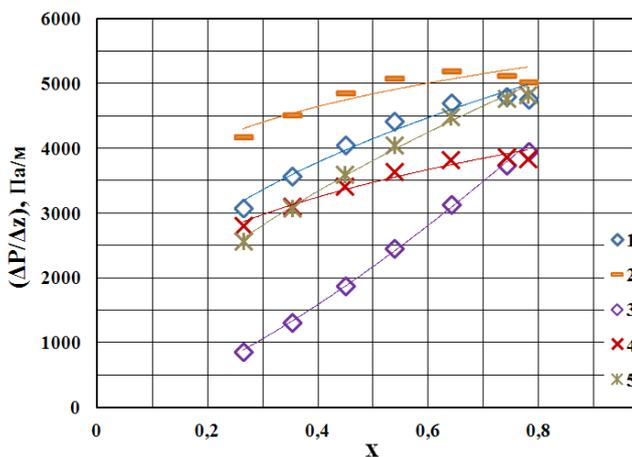


Рис. 5.  $(\Delta P/\Delta z)_f = f(x)$  для R22:  
1 – (2); 2 – (3); 3 – (4); 4 – (5); 5 – (6)

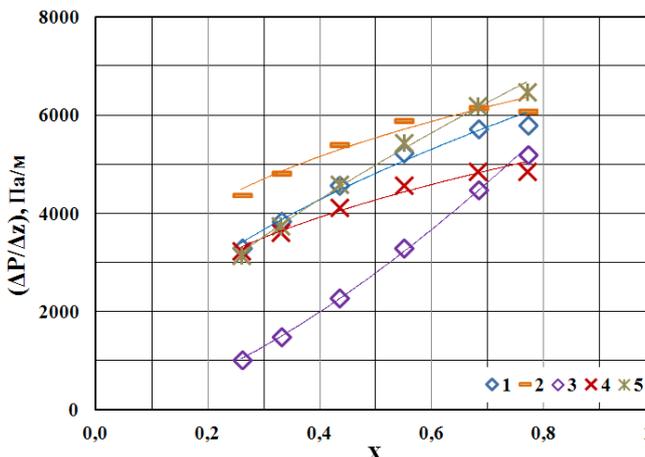


Рис. 6.  $(\Delta P/\Delta z)_f = f(x)$  для R134a:  
1 – (2); 2 – (3); 3 – (4); 4 – (5); 5 – (6)

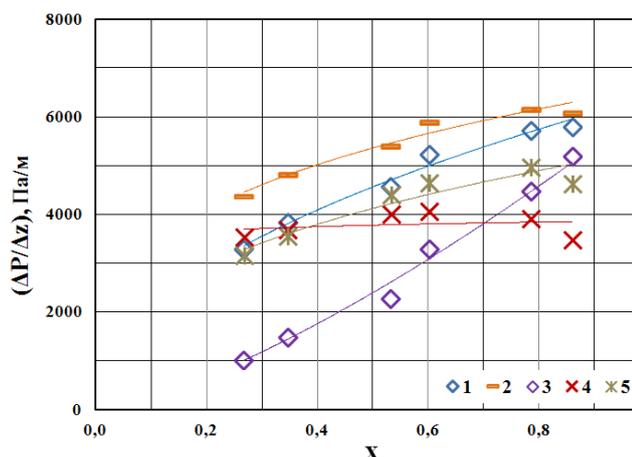


Рис. 7.  $(\Delta P/\Delta z)_f = f(x)$  для R32:  
1 – (2); 2 – (3); 3 – (4); 4 – (5); 5 – (6)

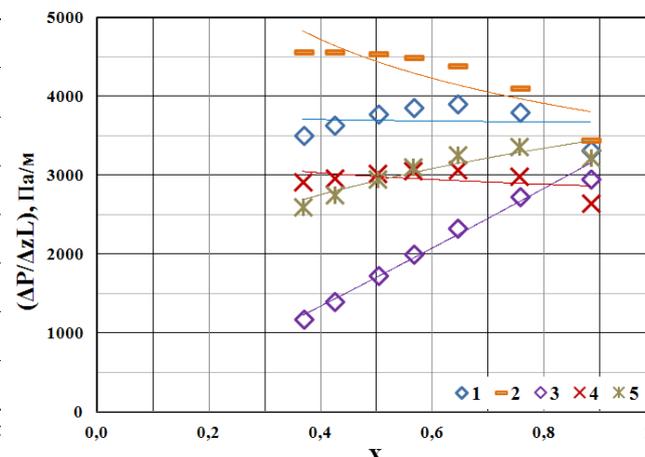


Рис. 8.  $(\Delta P/\Delta z)_f = f(x)$  для R410A:  
1 – (2); 2 – (3); 3 – (4); 4 – (5); 5 – (6)

Порівняння розрахунків втрат тиску на тертя наведено на рис. 5 – 8 для холодоагентів R22, R134a, R32 і R410A. У формулі (7) використовувались значення множника  $\Phi_v^2$ , які були обчислені за формулами (2) – (6).

Аналіз рис. 5-8 свідчить, що втрати тиску на тертя з використанням розрахунків за формулами (2)–(6) дають різні результати. Найбільш прийнятними у разі обчислення втрат тиску на тертя є розрахунки з використанням формул (2), (5) і (6).

### Висновки

У разі конденсації холодоагентів у середині гладких горизонтальних труб, розрахунки втрат тиску на тертя слід проводити з урахуванням вибору методу обчислення множника двофазності потоку  $\Phi_v^2$  та з визначенням режимів течії фаз за методикою із праці [8].

### Література

1. Lockhart R.W., Martinelli R. C. Proposed correlation of data for isothermal two-phase, twocomponent flow in pipes // Chem. Eng. Progr. – 1949. – No. 1 (Vol. 45). – P. 39-48.
2. Wang et al. (1997b) Wang, C.-C., Chiang, C.-S. and Lu, D.-C., Visual observation of two-phase flow pattern of R-22, R-134a, and R-407C in a 6.5-mm smooth tube, Exp. Therm. Fluid Sci., 15(4), 395–405, 1997b
3. Soliman H.M., Schuster J.R. and Berenson P.J A General Heat Transfer Correlation for Annular Flow Condensation. J. Heat Transfer, Trans. ASME. 1968. V. 90. № 2. P. 267-276.
4. Koyama S., Gao L., Fujii T. Enhancement of in-tube condensation of non-azeotropic refrigerants mixtures with a micro-fin tube. Proceedings of the XVIII-th International Congress of Refrigeration. Montreal, Quebec, Canada, 10-17 August 1991. P. 142–156.
5. Afroz H. M., Miyara A., Tsubaki K. Heat transfer coefficients and pressure drops during in-tube condensation of CO<sub>2</sub>/DME mixture refrigerant. International Journal of Refrigeration. 2008. №31(8). P. 1458–1466.
6. Fujii T. Enhancement to condensing heat transfer – new developments. Journal of Enhanced Heat Transfer. 1995. №2. P. 127–137.
7. Cavallini A., Censi G., Del Col D., Doretti L., Longo G. A., Rossetto L. Experimental investigation on condensation heat transfer and pressure drop of new refrigerants (R134a, R125, R32, R410A, R236ea) in a horizontal smooth tube. International Journal of Refrigeration. 2001. №24(1). P. 73–87.
8. Серeda В.В., Горін В.В. Обґрунтування методу визначення режимів течії під час конденсації пари у горизонтальних трубах. Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми холодильної техніки та технології», 27 – 28 вересня, 2019. Одеса. С. 80 – 81.

## **НАПІВАВТОМАТИЧНЕ ДОЗУЮЧЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ФАСУВАННЯ СИПКИХ ПРОДУКТІВ СХИЛЬНИХ ДО ПИЛІННЯ**

**Серкіз О.Р.**, доцент, НУ «Львівська політехніка», [orros@i.ua](mailto:orros@i.ua)  
**Бойко М.В.**, ст.викл/, НУ «Львівська політехніка», [osnastka@ukr.net](mailto:osnastka@ukr.net)  
**Тодавчич В.І.**, студент, НУ «Львівська політехніка»

Автоматизація засобів вимірювальної техніки з кожним роком піднімається на новий виток в ієрархії свого розвитку. Причиною цьому слугують, як властивості продуктів, котрі підлягають автоматизованому дозуванню, так і поява нових вимірювальних способів, систем та засобів, що реалізують вказані процеси.

Неабиякий інтерес для дослідників та проєктантів нової дозуючої техніки представляють сипкі продукти харчування, чи їх суміші, що мають схильність до пиління - такі, наприклад, як цукор-пудра, крохмал, порошкове морозиво, різного роду ароматизатори та інші [1,2].

Саме дані продукти здатні вражати своєю гігроскопічністю, здатністю до створення склепінь в ємностях, комкоутворення та налипання на рухомий інструмент мішалок чи подаючих шнеків, створювати надлишкову запиленість об'єму робочого середовища де реалізуються процеси дозування.

Враховуючи перелічену специфіку даних продуктів, вони, відповідно, вимагають і своєрідного підходу, як в реалізації процесів дозування, міжопераційного транспортування та вентиляції, так і використання такого алгоритму функціонування, котрий би забезпечував взаємодію усіх задіяних в процесі засобів при гарантованій точністю дозування.

При проведенні досліджень використовувався метод багатофакторного експерименту .

Лабораторною базою для проведення досліджень була напівавтоматична лінія комбінованого об'ємно-вагового дозування продукту у паперові ламіновані мішки місткістю 2,5...10 кг з подальшими операціями зварювання ламінованого покриття в середині мішка поверх насипаного продукту та зашивання горловини (торця) мішка через складену вдвоє стрічку, котра герметизує як торець мішка, так і отвори від голки при прошиванні мішка ниткою.

В склад напівавтоматичної лінії входили: два бункери-силоси, з мішалками в середині та пневматично керованими вихідними затворами; два шнекові дозатори вихідні патрубки котрих із вмонтованими всередину вібраційними дифузорами були з'єднані з дво- входовим колектором, вихідний патрубок котрого слугував горловиною ламінованого паперового мішка; тензовага з ваговим процесором; напівавтоматична зашивальна машина з пристроєм запаювання ламінованого шару та пристроєм подачі герметизуючої стрічки під лапку зашивальної машини.

За своєю структурою напівавтоматична лінія дозування продукту в паперові мішки була побудована так, що на один вагопроцесорний термінал

конструкції ТзОВ «Завод «Техноваги»» можуть почергово працювати два об'ємні шнекові дозатори з частотним регулюванням швидкості і котрі системою керування зв'язані з вагопроцесором. При одночасній роботі всіх шнеків з одним і тим самим продуктом діставали вираш в продуктивності, при послідовній роботі шнеків, що транспортують різні продукти – можливість отримувати в одному мішку суміш двох продуктів. Предметом експерименту стало дослідження точності дозування в залежності від режимів транспортування [2], характеристик самого продукту та геометрії відносного розташування пристроїв [1] та їх елементів, котрі приймають участь у дозуванні. Результати експерименту заносились в таблицю, оброблялись і за їх результатами визначались найбільш впливові чинники, котрі потребували корекції чи видозміни [3].

Окремим чинником, що заслуговував уваги і підлягав дослідженням був вібраційний дифузор, котрий за своєю конструкцією кріпився до вихідного патрубку кожного з шнекових подаючих конвеєрів та завдяки передачі направлених коливань на робочі елементи останніх, сприяв процесу гарантованого витоку продукту за межі торця вихідного патрубка дозатора, тим самим руйнуючи можливі налипання та утворювані скоси продукту на внутрішніх твірних патрубків.

З метою збільшення міцності мішка, упередження поширення витоку пилу продукту через складки, гофри та голкові отвори отримані при зашиванні мішка нитками, існуюча модель лінії була доукомплектована пристроями зварювання внутрішніх шарів ламінованого паперового мішка та забезпечена пристроєм подачі і формування герметизуючої стрічки безпосередньо під лапку швейної машини.

Загалом, за результатами проведених експериментів на даній лінії вироблено рекомендації щодо проектування пристроїв дозування сипких продуктів схильних до пиління. Досліджено стабільність роботи зазначених вище вагопроцесорів та оптимізовані значення встановлюваних порогів зважування для кожного з досліджуваних продуктів чи їх сумішей. Розроблено модернізовану конструкцію зварної та мішко-зашивальної лінії для ламінованих паперових мішків.

### Література

1. О.М. Гавва, А.В. Деренівська, М.А. Масло Раціональне розташування зважувальної місткості у вагових дозаторах для сипкої продукції Упаковка. – 2013р. – № 2. – С. 54-57.
2. О.М. Гавва, А.В. Деренівська, Л.О. Кривопляс-Володіна Шляхи зменшення динамічної складової похибки дозування сипкої продукції - Науковий журнал «Харчова промисловість». – 2013 р. – № 14. – С. 176-179с.
3. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань: Навч. Посібник.- Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007.- 624с.

## **ФОРМУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ ШКАЛИ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ГРУПОВОГО ЕТАЛОНА ЧАСУ І ЧАСТОТИ UTC (UA)**

**Солдатов В.В.**, ННЦ «Інститут метрології» м. Харків Україна

**Анотація:** в статті представлені результати експериментальних досліджень по визначенню точностних характеристик та формування вихідного сигналу групового еталона часу і частоти UTC(UA) системи синхронізації єдиного часу (часової синхронізації) для її застосування для потреб Службі єдиного часу і еталонних частот.

**Ключові слова:** передача шкали часу, коригування шкали часу, синхронні шкали часу, еталон одиниць часу і частоти, Служба єдиного часу і еталонних частот.

### **Вступ**

В останні роки спостерігається суттєвий прогрес в точності зберігання і відтворення еталонних одиниць часу і частоти, в першу чергу обумовлений появою нових квантових стандартів частоти, заснованих на використанні охолоджених атомів або іонів (цезієві, рубідієві фонтани, оптичні стандарти на атомах стронцію і ін.). При цьому формування сигналів еталона, як правило, здійснюється за допомогою невеликого ансамблю активних водневих стандартів ефективність такого підходу давно відома. Відзначимо, що в нашій країні ансамбль водневих стандартів і цезієвих є основою для еталону частоти і часу. За кордоном часто застосовують ансамблі цезієвих стандартів частоти (на цезієвої атомнолучевой трубці) або цезієві.

### **Основний матеріал**

Для вирішення завдань ведення часу, і частоти на новому рівні точності Службою єдиного часу і еталонних частот впроваджено формування реальних сигналів (високочастотних сигналів і сигналів Гц), що володіють характеристиками точності групового еталона. Під час вирішення даного завдання застосовано алгоритму розрахунку групової частоти і шкали часу, а також реалізація алгоритму управління частотою і фазою джерела вихідного сигналу стандарту. В якості такого джерела застосовано допоміжний генератор - керований кварцовий генератор, частота якого стабілізована щодо одного опорного сигналу (сигналу квантового стандарту).

Одним з найважливіших якостей еталона є його надійність. Використання декількох стандартів в ідеалі дозволяє здійснити резервування вихідних сигналів. Однак перемикання з провідного стандарту на резервний стандарт не може бути миттєвим. Рішення про перемиканні проводиться на основі аналізу результатів звірень провідного стандарту з іншими стандартами еталона (загальна кількість стандартів повинно бути не менше трьох) і вимагає деякого часу, протягом якого вихідний сигнал може бути зіпсований. Сигнал резервного стандарту повинен бути змінено відповідно по частоті і фазі, щоб максимально

збігатися з вихідним сигналом, стабілізованою по частоті щодо ведучого стандарту.

Виходячи з перелічених причин був застосований альтернативний підхід до задачі резервування вихідних сигналів, який передбачає використання сигналів відразу декількох стандартів частоти та часу, що входять в груповий еталон, для формування вихідного сигналу. Сигнали що входять до групи стандартів вимірюються на багатоканальному частотному компараторе (БЧК) щодо сигналу керованого кварцового генератора (ККГ). За даними цих вимірів процесорний пристрій (ПУ) формує команди корекції частоти сигналу кварцового генератора.

Таким чином, реалізується цифрова петля автоматичного підстроювання частоти допоміжного генератора щодо середньої частоти групи сигналів. Детектування проблемних ситуацій відбувається перш, ніж вводяться корекції, тому якщо флуктуація частоти одного з вхідних сигналів перевищує задану межу, цей сигнал виключається з групи та не бере участі в управлінні допоміжним генератором. Внесок виключеного сигналу замінюється деяким середнім значенням, виміряним заздалегідь. При цьому динамічні характеристики петлі автоподстроики залишаються незмінними.

Такий підхід має ряд переваг: безперервність вихідного сигналу, відсутність стрибків по фазі та частоті при включенні та відключенні опорних сигналів, можливість реалізації в одному приладі

### **Експериментальні дослідження**

Для визначення оптимальної конфігурації, визначення його метрологічних характеристик, визначення точностних характеристик еталона проводилися дослідження. Дослідження спрямоване на підвищення рівня проведення метрологічних робіт з метою захисту громадян і національної економіки від наслідків недостовірних результатів вимірювань. При випробуванні еталона перевірено: Дійсні значення частоти стандартів частоти і часу, систематичної зміни та нестабільності їх частоти за даними внутрішніх звірень.

### **Результати досліджень**

Експериментальні дослідження з визначення точностних характеристик системи тимчасової синхронізації

Частота еталона є середнє значення частоти групової міри, тобто усереднюють дійсні значення частоти (ДЗЧ) усіх мір, які входять до складу групи. Використання групової міри дозволяє зменшити випадкову похибку відтворення одиниць фізичних величин за рахунок статистичної обробки результатів вимірювань, а також підвищити надійність їх зберігання.

Головна метрологічна задача, яка вирішується при метрологічних дослідженнях еталона, це визначення ДЗЧ стандартів частоти і часу, систематичної зміни та нестабільності їх частоти за даними внутрішніх звірень.

Вимірювання виконані за допомогою автоматизованої системи внутрішніх звірень, Державного первинного еталона одиниць часу і частоти ДЕТУ-07-01-97.

Безпосередні результати вимірювань зберігаються в електронній базі даних системи внутрішніх звірень.

Стандартна невизначеність (англ. standard uncertainty)  $u$  — невизначеність результату вимірювання, виражена як його стандартне (середнє квадратичне) відхилення.

За методами розрахунку невизначеності поділяють на дві групи:

- невизначеності типу А — невизначеності результату вимірювання, оцінені шляхом статистичного аналізу результатів повторних спостережень;
- невизначеності типу В — оцінені нестатистичними методами.

**Отримане значення  $u_A$  = 1,929647E<sup>-15</sup>**

$$u_B = \sqrt{u(x_s)^2 + u(x)}$$

$$u_B = 2,18278E^{-14}$$

$$U_{0,95} = 4,38258E^{-14}$$

### **Висновок**

Підчас дослідження були обчислені середні квадратичні відхилення відносної різниці частот синтезатора фізичної шкали HROG-5 та двох водневих стандартів № 1 і № 3. Середнє квадратичне відхилення відносної різниці частот синтезатора фізичної шкали HROG-5 та водневого № 1 склало  $3,7 \cdot 10^{-14}$ , а водневого № 2  $2,7 \cdot 10^{-14}$  відповідно. Розрахункове середнє квадратичне відхилення відносної частоти на добових інтервалах не перевищує  $3,7 \cdot 10^{-14}$ . Аналіз даних вимірювань системи внутрішніх та зовнішніх звірень свідчить про те, що в середньому значення СКВ на добових точках для водневих стандартів не перевищує значень  $2,0 \cdot 10^{-14}$ . Зіставляючи ці фактори можна зробити висновок про те, що середнє квадратичне відхилення частоти фізичної шкали UTC(UA) на добових точках усереднення на довготривалих часових інтервалах відповідає розрахунковим.

### **Література**

1. ДСТУ 2870-94 Метрологія. Вимірювання часу і частоти. Терміни і визначення.

2 Воронин М.Г., Пашев Г.П. Анализ систем автоматической подстройки фазы выходного сигнала квантового группового хранителя частоты и времени 11 Измерительная техника, No 3, 2008, с. 21-26. Voronin M.G., Pashev G.P. Analysis of an automatic phase adjustment system for the output signal of a quantum group frequency and time keeper // Measurement Techniques. – 2008. – V. 51. – No 3. – P. 260-268.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ДЛЯ ІМПУЛЬСНОГО РЕЖИМУ ПОТОКУ В СИСТЕМІ ОБЛІКУ

Федоришин Р. М., доцент, НУ «Львівська політехніка»,  
[roman.m.fedoryshyn@lpnu.ua](mailto:roman.m.fedoryshyn@lpnu.ua)

Пістун О. І., аспірант, НУ «Львівська політехніка», [nutsip13@gmail.com](mailto:nutsip13@gmail.com)

Особливістю обліку природного газу на теплогенеруючих об'єктах (котельні, ТЕЦ, ТЕС) є наявність значних різниць температур потоку газу та навколишнього повітря, а також коливання витрати газу, що спричинене режимами роботи газового обладнання, а саме водогрійних та парових котлів. Однією зі складових похибки вимірювання об'єму газу є похибка, зумовлена інерційністю термоперетворювача під час коливань параметрів потоку (температури та витрати), які мають місце при імпульсних режимах роботи систем обліку. Врахування та усунення цієї складової похибки є важливим кроком для підвищення точності обліку природного газу на теплогенеруючих об'єктах.

Для моделювання похибки, зумовленої інерційністю термоперетворювача при імпульсному режимі потоку газу  $\Delta T_{in}$ , використовуємо математичну модель, яка виведена на основі закону збереження тепла та рівняння витрати газу для довгого трубопроводу з турбулентним режимом протікання із застосуванням аналітичних залежностей з [1]-[3]. Математична модель системи обліку реалізована у вигляді структурної схеми в середовищі SIMULINK програмного пакету MATLAB і представлена на рис.1. На цій схемі імпульсний сигнал витрати газу в робочих умовах (блок Impulse F\_r) поступає на блок MATLAB Function, а далі на Gain, і на виході інтегратора (Integrator1) отримується сигнал температури газу в місці монтажу термоперетворювача. Блок W\_TP1 реалізує функцію передачі термоперетворювача і на його виході маємо сигнал вимірної температури газу на виході термоперетворювача. Цей сигнал поступає на блоки ro\_r2, Product1 і Gain2 і таким чином отримується сигнал витрати газу, приведеної до стандартних умов за виміряним значенням температури газу.

На схемі зроблено такі позначення змінних: T1 – температура газу в місці входу трубопроводу в приміщення котельні; T2 – температура газу в місці монтажу термоперетворювача; T<sub>rov</sub> – температура навколишнього повітря в приміщенні котельні; dT<sub>in</sub> – похибка вимірювання температури газу, зумовлена інерційністю термоперетворювача; dF<sub>s</sub> – похибка вимірювання витрати газу, зумовлена похибкою dT<sub>in</sub>; dV – похибка вимірювання об'єму газу, зумовлена похибкою dT<sub>in</sub>.

На вхід моделі поступає імпульсний сигнал зміни витрати газу. Тривалість імпульсів та пауз між ними становлять 15 хв. Стала часу термоперетворювача становить 1 хв. Результати моделювання зображені у вигляді графіків на рис.2,3.

З результатів моделювання (рис.3) видно, що при імпульсних режимах роботи вузла обліку в умовах, коли температура потоку газу є нижчою за температуру навколишнього повітря ( $T_{газ} < T_{нов}$ ), похибка  $\Delta T_{in}$  під час увімкнення

подачі газу є додатною, а похибки  $\Delta F_c$  та  $\Delta V_c$  – від’ємними. Це означає, що на вузлі обліку газу має місце зниження виміряного об’єму спожитого газу.

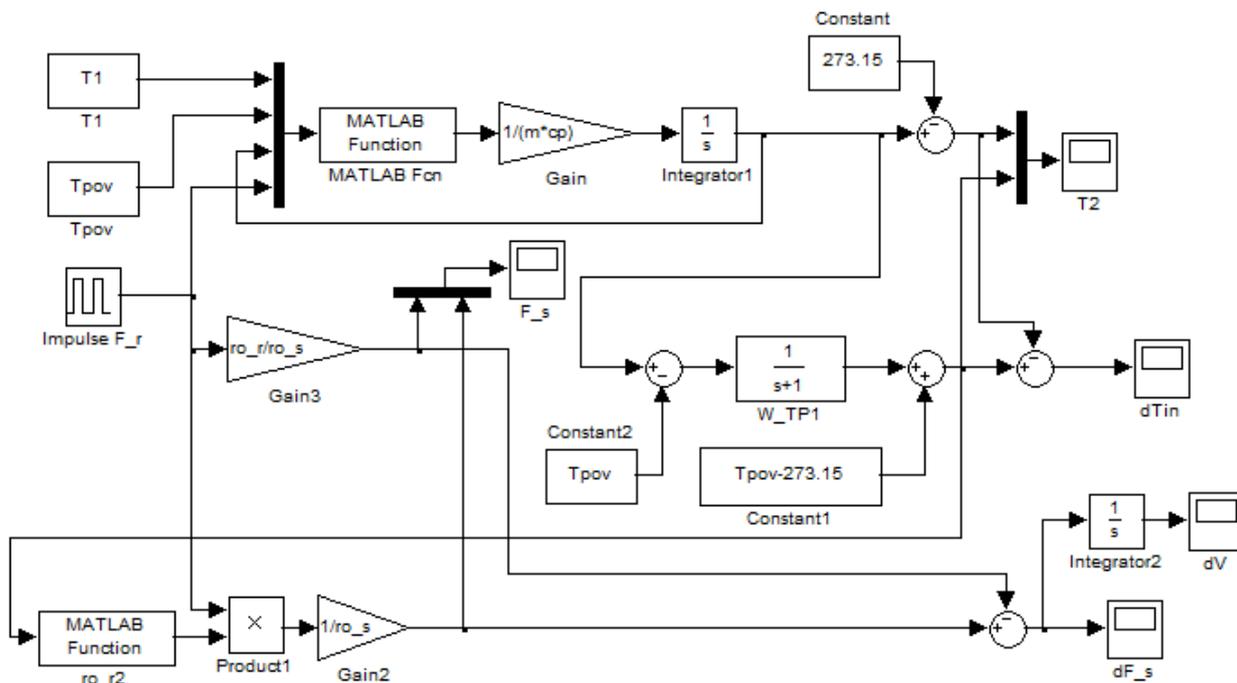


Рис.1. Структурна схема математичної моделі системи обліку природного газу в середовищі SIMULINK

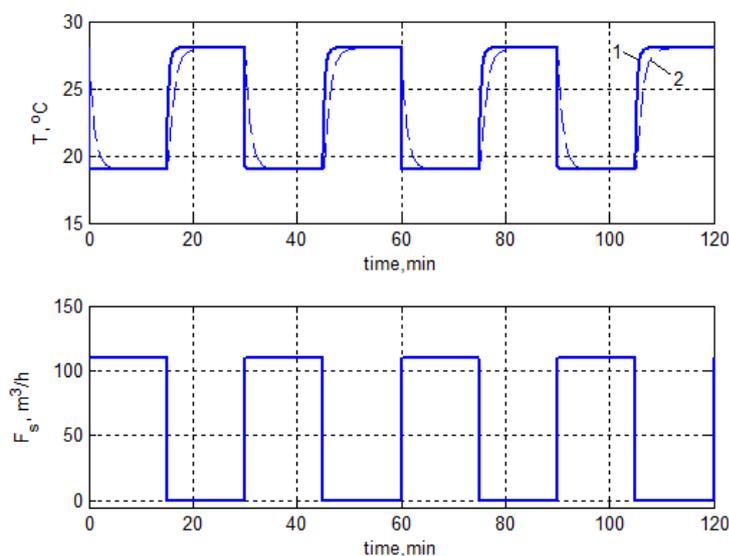


Рис.2. Зміна витрати та температури газу: 1 – дійсне значення температури газу; 2 – виміряне значення температури газу

Зменшити похибку  $\Delta T_{in}$  можна шляхом застосування таких заходів: встановлення низькоінерційних термоперетворювачів безпосередньо в потік газу; встановлення вузлів обліку газу в умовах, коли температура потоку газу рівна температурі навколишнього повітря; налагодження неперервного режиму протікання газу через вузол обліку.

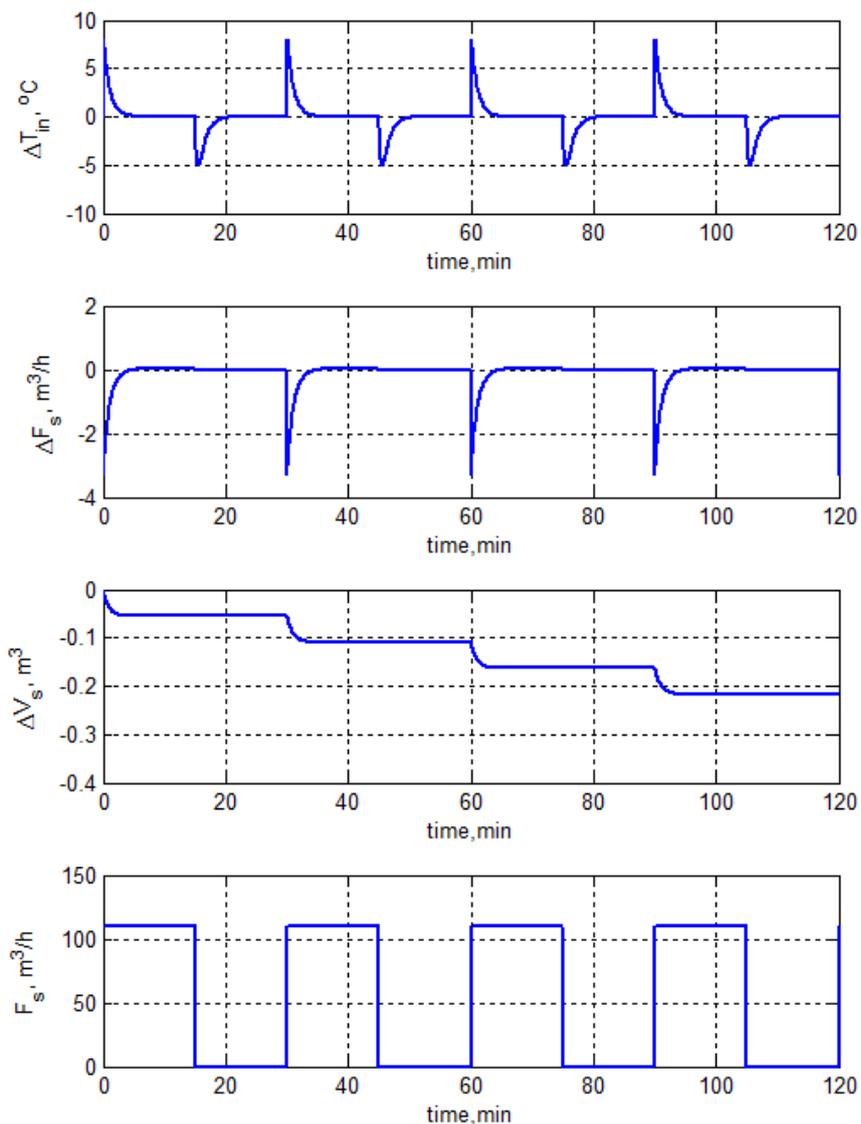


Рис.3. Зміна витрати газу та похибок  $\Delta T_{in}$ ,  $\Delta F_s$ , та  $\Delta V_s$

Запропонований спосіб визначення та мінімізації похибок вимірювання температури та об'єму газу, зумовлених інерційністю термоперетворювача при імпульсних режимах протікання газу, забезпечить підвищення точності обліку природного газу.

### Література

1. Лабай В. Й. Тепломасообмін: Підручник для ВНЗ. – Львів: Тріада Плюс, 2004. – 260 с.
2. Кривошеин Б. Л. Теплофизические расчеты газопроводов. – М., Недра, 1982, 168с.
3. Стенсель Й. І. Математичне моделювання технологічних об'єктів керування: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1993. – 328 с.

## ТРАНСФОРМАЦИЯ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ РАЗРУШЕНИИ КОМПОЗИТА ПО КРИТЕРИЮ МИЗЕСА

Филоненко С.Ф., д.т.н., проф., НАУ, [files0101@gmail.com](mailto:files0101@gmail.com)

Исследования процессов разрушения композиционных материалов (КМ) направлены на поиск критериев, позволяющих прогнозировать критические стадии повреждения, ведущие к потере несущей способности изделий. Такие исследования проводят с использованием различных моделей процессов разрушения КМ, одной из которых является модель пучка волокон (FBM – fibre bundle-model) [1]. Исследования касаются как условий одноосного растяжения КМ [1], так и условий сдвига [2, 3]. При исследованиях проводится анализ акустической эмиссии (АЭ). Однако анализируется не формируемый сигнал АЭ, а накопленная энергия АЭ при разрушении элементов КМ.

Теоретическое выражение для сигнала АЭ при разрушении КМ поперечной силой с использованием модели FBM получено в работе [4]. При этом рассматривался случай разрушения КМ по критерию ОР при условии независимых равномерных распределений пороговых уровней разрушения с границами [0,1]. Разрушение элемента КМ при действии поперечной силы происходит тогда, когда его деформация растяжения или изгиба достигает определенного уровня, в соответствии с закономерностью изменением эквивалентных напряжений [2] на КМ при линейном вводе деформации. Было показано, что зависимость изменения оставшихся элементов КМ имеет непрерывный характер падения, а формируемый сигнал АЭ является импульсным сигналом, который характеризуется ускоренным нарастанием амплитуды переднего фронта и релаксационным падением амплитуды заднего фронта.

В работе [2] получено выражение для изменения эквивалентных напряжений при разрушении КМ поперечной силой с использованием критерия Мизеса для случая двух независимых равномерных распределений порогов разрушения с границами [0, 1] при монотонности ввода деформации  $\varepsilon = \alpha t$  ( $\alpha$  - скорость деформации) в виде

$$\sigma(\varepsilon) = \varepsilon \cdot 0.5 \left[ \left( 2 - 2\sqrt{\varepsilon} + \varepsilon^{1.5} \log\left(\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}\right) \right) - \varepsilon^{1.5} \left( 2\sqrt{(1-\sqrt{\varepsilon})/\varepsilon} + \log\left(\frac{1+\sqrt{1-\sqrt{\varepsilon}}}{1-\sqrt{1-\sqrt{\varepsilon}}}\right) \right) \right] \quad (1)$$

Для данного случая, используя положения [4], сигнал АЭ будет описываться выражением вида

$$U(t) = U_0 \nu_0 [\sigma_m(t) - \sigma(t_0)] \cdot e^{r[\sigma_m(t) - \sigma(t_0)]} \cdot e^{-\nu_0 \int_{t_0}^t r[\sigma_m(t) - \sigma(t_0)] dt} \quad , \quad (2)$$

где  $U_0$  - максимально возможное смещение при мгновенном разрушении КМ, состоящего из  $N_0$  элементов;  $\sigma_m(t)$  - описываются выражениями (1);  $\sigma(t_0)$  -

описываются выражениями (1) при  $t = t_0; v_0, r$  – постоянные, зависящие от физико-механических характеристик материала.

На рис. 1 показаны результаты моделирования в относительных единицах числа оставшихся элементов и формируемого сигнала АЭ при разрушении КМ по критерию Мизеса для двух скоростей деформирования.

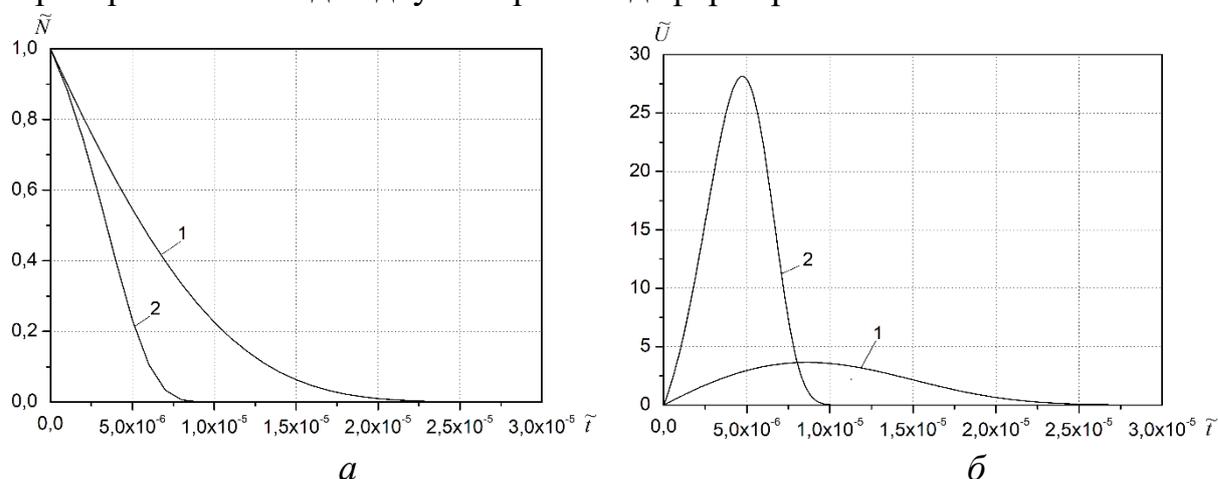


Рис. 1. Зависимости изменения числа оставшихся элементов (*a*) и сигналов АЭ (*б*) при разрушении КМ по критерию Мизеса. Скорость деформирования: 1 – 10; 2 – 50.  $\tilde{v}_0 = 100000$ ,  $\tilde{r} = 10000$ ,  $\tilde{t}_0 = 0.004$

Из рис.1 видно, что сигнал АЭ является импульсным. При возрастании скорости деформирования происходит трансформация формы сигнала.

**Выводы:** Исследования показывают, что при разрушении КМ по критерию Мизеса, как и по критерию ОР, сигнал АЭ являются импульсным сигналом. При малых скоростях деформирования он характеризуется ускоренным нарастанием амплитуды переднего фронта и релаксационным падением амплитуды заднего фронта. При больших скоростях деформирования происходит возрастание параметров сигнала и его трансформация с приближением к сигналу треугольной формы.

### Литература

1. Pradhan S. Failure processes in elastic fiber bundles/ S. Pradhan, A. Hansen, B.K. Chakrabarti//Review of Modern Physics.-2010.-vol. 82.-No 1.-P.499-555.
2. Raischel F. Simple beam model for the shear failure of interfaces/F. Raischel, F. Kun, H. J. Herrmann // Phys. Rev.E- 2005.-v.72.- №4.-P.11.
3. Michlmayr G. Shear-induced force fluctuations and acoustic emissions in granular material/G. Michlmayr, D. Cohen, D. Or//J. of Geophysical Research: Solid Earth. -2013.-vol. 118.-P.6086–6098
4. Filonenko S. Destruction of composite material by shear load and formation of acoustic radiation/S. Filonenko, V. Kalita, A. Kosmach// Aviation. -2012.-v.16.-No1.-P.5-13.

## АНАЛІЗ АКТУАЛЬНИХ ПРОПОЗИЦІЙ У ВИРІШЕННІ ПИТАНЬ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Шлома А.І., інж. 1-ї кат., ННЦ «Інститут метрології», [andreus0082@gmail.com](mailto:andreus0082@gmail.com)

Анотація. Доповідь присвячена аналізу рішення проблем метрологічного забезпечення у сфері неруйнівного контролю (НК). Розглянуто пропозицію представити НК як вимірювання багатьох параметрів, а також приклад еталонної вимірювальної системи для комплексної калібрування заходів металевих покриттів на металевих основах для калібрування вихор струмових товщиномірів покриттів.

### 1. Введення

Сучасна метрологія та науково-технічний прогрес знаходяться в нерозривному зв'язку, оскільки, з одного боку, без точних вимірювань неможливий розвиток науки та інноваційних технологій, а з іншого, саме досягнення науки і техніки стимулюють розвиток вимірювальної техніки, поява нових методів і засобів визначення різних фізичних величин. Слід визнати, що в основу збрехав метрологи лежать принципи оцифрування, тобто переходу до цифрових методів збору, передачі та обробки всіх отриманих даних. Що в свою чергу ставить питання про вирішення проблем метрологічне забезпечення НК і його відповідності сучасним реаліям.

### 2. НК це вимірювання багатьох параметрів

Необхідно чітко уявляти, що НК наслідок контролю мінімум декількох параметрів в момент вимірювання, і це без урахування факторів, що впливають на процес вимірювання. Таким чином, в якості основного принципу метрологічного підтвердження устаткування, процедур і еталонних блоків неруйнівного контролю пропонується розглядати неруйнівного контролю як вимірювання багатьох параметрів [1]. Специфіка таких вимірів полягає в тому, що для відповідних первинних перетворювачів неможливо однозначно виділити параметри в однозначно читану інформацію. Приклад - вимірювання товщини покриттів або стінок ультразвуковими або електромагнітними, ці вимірювання, є непрямими. Зокрема, вихор струмові товщиноміри, що реалізують різницю амплітуд, фазові і амплітудно-частотні методи вимірювання, засновані на аналізі електромагнітного поля вихрових струмів, індукованих в тестовому об'єкті, широко використовуються для вимірювання товщини металевих покриттів. Результати вимірювань цих пристроїв залежать від декількох груп параметрів: електрофізичний (провідність матеріалів покриття  $\sigma_c$  і базова  $\sigma_{base}$ , а також питома проникність матеріалу основи  $\mu_{base}$ ) і геометричний (товщина покриття  $T_c$ , шорсткість радіус кривизни поверхні і т. Д.). Для забезпечення простежуваності вимірювань товщини за описаним методом необхідно

використовувати еталонний стандарт, сертифікований за всіма зазначеними параметрами.

Для вирішення даної проблеми вже ведуться роботи по реалізації еталонної вимірювальної системи, яка забезпечує вимірювання провідності підстави методом Ван-дер-Пау, вимір комплексної питомої проникності металу на кільцевих зразках з використанням пермеаметра, передачу значення цього параметра в основу заходів довільної форми з плоскою поверхнею, вимір провідності матеріалу кришки заходи з використанням перетворювача з обмоткою хвильового збудження [2].

Підхід до НК як до виміру багатьох параметрів дозволить використовувати в ньому методи самоконтролю і підтримки метрологічної коректності, що застосовуються в інтелектуальних датчиках [3]. Ці методи засновані на вимірі, на додаток до основного інформаційного сигналу додаткових параметрів, на змінах, в яких можна судити, чи відповідають показання датчика вимірюваного значення або вони пов'язані зі зміною умов вимірювання, властивого характеристики датчика і т. Д., Що в свою чергу дозволить автоматизувати багато аспектів неруйнівного контролю та розробити процедури самонастроювання неруйнівного контролю.

### 3. Висновок

Існуюча специфіка систем неруйнівного контролю, що включає сертифікацію обладнання, методики і персоналу, перешкоджає їх розвитку з точки зору автоматизації та забезпечення єдності вимірювань. Як вирішення цієї проблеми пропонується ввести концепцію метрологічної простежуваності при сертифікації обладнання, методів та стандартів. Для вирішення даної проблеми, необхідні більш сучасні концепції, можливо розгляд НК як вимірювання багатьох параметрів - дасть відповідну точку. У будь-якому випадку тільки розробка відповідних засобів метрологічного забезпечення уможливить розвиток НК відповідно до сучасних вимог.

### Література

1. Gogolinskii K V and Syasko V A. Actual metrological and legal issues of non-destructive testing 2019 J. Phys.: Conf. Ser.
2. Сясько В.А., Голубев С.С., Смородинский Я.Г., Потапов А.И., Соломенчук П.В., Смирнова Н.И. 2018 г. Российский журнал неразрушающего контроля 54 698-710
3. Тайманов Р., Сапожникова К., Данилова И., Дружинин И. 2015 Многоканальные интеллектуальные измерительные системы Учеб. XXI Всемирная конференция ІМЕКО «Измерения в исследованиях и промышленности» (30 августа - 4 сентября 2015 г., Прага, Чехия) 961-6

## ДОСЯГНЕННЯ ВИСОКИХ ПОКАЗНИКІВ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІНЕРЦІЙНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Квасніков В.П., д.т.н., проф., НАУ, [kvp@nau.edu.ua](mailto:kvp@nau.edu.ua)

Галицький В.А., аспірант, НАУ, [kza15@ukr.net](mailto:kza15@ukr.net)

Для досягнення високих показників вихідних даних інерційних навігаційних систем, на базі акселерометрів необхідно враховувати особливості виготовлення чутливих елементів, їх порогову чутливість, зсув нуля, нелінійність, та інші важливі показники. Досягнути необхідних параметрів можливо відповідною методикою юстування вимірювача лінійного прискорення прецизійний маятниковий акселерометр компенсаційного типу.

Для маятника в пружному підвісі (ПП), у якого його центр мас (ц.м.) лежить у вертикальній площині, що проходить через вісь підвісу, пружний момент дорівнює нулю. При круговому обертанні такого маятника відносно горизонтальної осі перпендикулярної площини, яка проходить через вісь ПП і ц.м., останній не буде виходити з цієї площини, а отже, не буде змінюватися сигнал датчика кута.

Передбачається, що при цьому виконується співвідношення:

$$K_y \alpha > ml \cdot g \cdot \sin \alpha,$$

для малих кутів

$$K_y > ml \cdot g,$$

в протилежному випадку положення верхнього маятника буде нестійким.

Таким чином, юстування чутливого елемента (ЧЕ) акселерометра без зворотного зв'язку повинна включати в себе наступні операції: виставку нульового сигналу датчика в вертикальному положенні осі ПП, коли відсутня закрутка пружного елемента і пружний момент рівний нулю; балансування підвісу, тобто зміщення Ц.М. маятника (за рахунок зміни маси вантажу балансування) з вертикальної площинною, яка проходить через вісь ПП.

Для отримання необхідних співвідношень, що визначають додаткову масу, на величину якої необхідно змінити в процесі юстирування основний вантаж балансування, розглянемо акселерометр в двох положеннях чутливого елемента по відношенню до вертикалі місця – в положенні нижнього маятника і в положенні верхнього маятника.

При поєднанні базової площини приладу з площиною горизонту маятник займе певне положення. Якщо у вихідному положенні момент, що створюється пружними перемичками  $M_y=0$ , то після повороту для положення рівноваги можна записати:

$$M_M - M_y = 0, \quad (1)$$

де  $M_M = M_0 \cdot g(\alpha - \alpha_{HM})$  (в припущенні, що кути  $\alpha$  і  $\alpha_{HM}$  – малі);

$M_0 = m \cdot l$  - маятниковість ( $M_{0расч} = 5,14 \cdot 10^{-6}$  кг·м);

$\alpha$  - конструктивний кут, що визначає похибку акселерометра;

$\alpha_{HM}$  - кут закрутки пружних перемичок, вимірюваний датчик (нижній маятник);

$$g=9,81 \text{ м/с}^2;$$

$$M_y = K_y \alpha_{\text{HM}}, K_y \text{— жорсткість підвісу } (K_{y \text{ розр}}=4,133 \cdot 10^{-4} \text{ Нм/рад}).$$

З рівності (1) для вихідного положення (до юстивання) знаходимо:

$$\alpha_0 = \frac{K_y + ml \cdot g}{ml \cdot g} \cdot \alpha_{0, \text{HM}} = (\varepsilon + 1) \cdot \alpha_{0, \text{HM}}, \quad (2)$$

$$\text{де } \varepsilon = \frac{K_y \cdot \alpha}{ml \cdot g \cdot \sin \alpha}.$$

$$\text{Для малих кутів } \alpha \quad \varepsilon = \frac{K_y}{ml \cdot g}.$$

Звідси для розрахункових значень  $K_y$  і  $ml$  отримуємо  $\varepsilon=8,2$ .

Для забезпечення  $\alpha=0$ , в рівнянні (1) необхідно додати додатковий момент  $\Delta M$ , підбором якого можна забезпечити виконання цієї умови:

$$M_M - M_y - \Delta M_{\text{HM}} = 0 \quad (3)$$

Вирішивши це рівняння відносно  $\alpha$ , з урахуванням (1) отримаємо :

$$\alpha_0 = \frac{K_y + ml \cdot g}{ml \cdot g} \cdot \alpha_{0, \text{HM}} - \frac{\Delta M_{\text{HM}}}{ml \cdot g} = \alpha_0 - \frac{\Delta M_{\text{HM}}}{ml \cdot g}. \quad (4)$$

Поклавши  $\alpha = 0$ , отримаємо вираз для визначення  $\Delta M_{\text{HM}}$  :

$$\Delta M_{\text{HM}} = (K_y + ml \cdot g) \cdot \alpha_{0, \text{HM}} \text{ або } \Delta M_{\text{HM}} = ml \cdot g \cdot (1 + \varepsilon) \cdot \alpha_{0, \text{HM}}. \quad (5)$$

Для того , щоб після юстирування  $\alpha = 0$ , необхідно:

$$\Delta M_{\text{HM}} = ml \cdot g \cdot \alpha_0 \text{ або } \Delta M_{\text{HM}} = ml \cdot g \cdot (\varepsilon + 1) \cdot \alpha_{0, \text{HM}}.$$

При положенні чутливий елемент - в положенні верхній маятник:

Після поєднання базової площини з площиною горизонту, отримаємо:

$$M_M - M_y = 0, \quad (6)$$

$$\text{де } M_M = M_0 \cdot g(\alpha - \alpha_{\text{BM}}), M_y = K_y \alpha_{\text{BM}},$$

$\alpha_{\text{BM}}$ -кут закрутки пружних перемичок, вимірюваний датчик (верхній маятник).

З рівності (1) для вихідного положення (до юстирування) знаходимо:

$$\alpha_0 = \frac{K_y - ml \cdot g}{ml \cdot g} \cdot \alpha_{0, \text{BM}} = (\varepsilon - 1) \cdot \alpha_{0, \text{BM}}. \quad (7)$$

Додаймо додатковий момент  $\Delta M_{\text{BM}}$  в (6), і запишемо вираз для  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{K_y - ml \cdot g}{ml \cdot g} \cdot \alpha_{0, \text{BM}} - \frac{\Delta M_{\text{BM}}}{ml \cdot g} = \alpha_0 - \frac{\Delta M_{\text{BM}}}{ml \cdot g}. \quad (8)$$

З рівняння (8), поклавши  $\alpha = 0$ , знайдемо  $\Delta M_{\text{BM}}$  :

$$\Delta M_{\text{BM}} = (K_y - ml \cdot g) \cdot \alpha_{0, \text{BM}} \text{ або } \Delta M_{\text{BM}} = m_{\text{BG}}(1 + \varepsilon) \cdot \alpha_{0, \text{HM}}. \quad (9)$$

Покажемо, що  $\Delta M_{\text{HM}}$  та  $\Delta M_{\text{BM}}$ , розраховані по формулам (5) і (9), відповідно, тотожно рівні. З цією ціллю знайдемо зв'язок  $\alpha_{\text{HM}}$  та  $\alpha_{\text{BM}}$ .

Поділимо (4) на (8) і після нескладних операцій, отримаємо:

$$\alpha_{0, \text{BM}} = \frac{K_y + ml \cdot g}{K_y - ml \cdot g} \cdot \alpha_{0, \text{HM}} = \frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon - 1} \cdot \alpha_{0, \text{HM}}. \quad (10)$$

Це співвідношення залишається справедливим для малих  $\alpha_0$ .

Підставимо (10) в (9), отримаємо:

$$\Delta M_{\text{BM}} = (K_y + ml \cdot g) \cdot \alpha_{0, \text{HM}} = \Delta M_{\text{HM}}, \quad (11)$$

що і потрібно було довести.

Підставимо в (10) розрахункові значення  $K_y$  і  $ml \cdot g$ , отримаємо:

Враховуючи розкид замірів при визначенні  $\Delta m$  для випадків нижнього і верхнього положення маятника, варто усереднити результати розрахунків по формулах.

На основі даних формул можна записати формулу для вирахування  $\Delta m_{cp}$ :

$$\Delta m_{cp} = \frac{ml}{r \cdot K_{dk}} \left[ \varepsilon \left( \frac{U_{HM} + U_{BM}}{2} \right) + \frac{U_{HM} - U_{BM}}{2} \right]. \quad (12)$$

Виключимо з формул для розрахунку  $\Delta m$  величину  $\varepsilon$ , що залежить від жорсткості підвісу  $K_y$ , експериментальне визначення якого потребує розробку спеціальної методики.

Помноживши праву та ліву частини (10) на  $K_{dk}$  отримаємо

$$U_{BM} = \frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon - 1} U_{HM} \quad (13)$$

Якщо ввести позначення  $\nu = \frac{U_{BM}}{U_{HM}}$ , (14)

То можна отримати наступні співвідношення, які поєднують  $\varepsilon$  і  $\nu$ :

$$\varepsilon = \frac{\nu + 1}{\nu - 1} \quad (15)$$

Підставимо (15) в отримаємо формулу для визначення додаткової маси вантажу балансування

$$\left. \begin{aligned} \Delta m &= \frac{2ml}{r \cdot K_{dk}} \cdot \frac{\nu}{\nu - 1} U_{HM} \\ \Delta m &= \frac{2ml}{r \cdot K_{dk}} \cdot \frac{1}{\nu - 1} U_{BM} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Для практичного здійснення даного методу балансування ЧЕ допускається лазерне вибирання матеріалу з поверхні вантажу балансування. Такий спосіб видалення матеріалу для деталей добре відомий. Для деталей з різних матеріалів лазерне випаровування металу відбувається по різному. Для розрахунків масу випаровування металу за один імпульс розраховується дослідним шляхом.

Дана методика дозволяє досягнути високих показників при виготовленні чутливого елемента що є важливим для характеристик інерційних навігаційних систем, на базі акселерометрів.

### Література

1. Басараб, М. А. Математическое моделирование физических процессов в гироскопии / М. А. Басараб, В. Ф. Кравченко, В. А. Матвеев. – М. : Радиотехника, 2005 г. – 176 с.
2. Белов Ю.А. Математическое обеспечение сложного эксперимента. К.: Наукова думка, Т.1, 1982. 300 с.; Т.4, 1986. 260 с.
3. Круча Г.К. Теоретические основы планирования исследований. М.: Машиностроение, 1973. 194 с.
4. Лебедев А.Н. Моделирование в научно-технических исследованиях. М.: Радио и связь, 1989. 258 с.
5. Ехлаков В.П., Маков Л.В. Измерение и контроль параметров технических комплексов. М.: Воениздат, 1978. 128 с.

**ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ  
ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ТА КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО  
СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ІНЖЕНЕРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ  
ВОДОГОСПОДАРСЬКО-МЕЛІОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСУ**

**Кузьмич Л.В.**, провідний науковий співробітник Інституту водних проблем і меліорації НААН, Київ

**Кузьмич А.А.**, магістрант Національного університету водного господарства та природокористування, м.Рівне, e-mail: [annekuzmych99@gmail.com](mailto:annekuzmych99@gmail.com)

У відповідності до схваленої Кабінетом Міністрів України «Стратегії зрошення та дренажу в Україні на період до 2030 року» (Розпорядження КМУ від 14 серпня 2019 р. № 688-р), стан меліоративного землеробства за рівнем використання наявних потужностей інженерної інфраструктури водогосподарсько - меліоративного комплексу характеризується як кризовий із загрозою погіршення.

Серед першочергових заходів реалізації даної Стратегії заплановано здійснити інвентаризацію меліорованих земель, зокрема інженерної інфраструктури міжгосподарських та внутрішньогосподарських мереж гідромеліоративних систем з метою встановлення ефективності їхнього функціонування, що передбачає проведення оцінки технічного стану даних об'єктів [1-4].

З розвитком геоінформаційних систем і технологій, дистанційного вимірювання, удосконаленням приладових систем, обладнаних датчиками різного призначення, на сьогоднішній день є можливим здійснення постійного та безперервного дистанційного автоматизованого моніторингу технічного стану водогосподарсько - меліоративного комплексу з контролем їхніх нормативних технічних параметрів, що дозволить оперативно реагувати на зміни технічних характеристик як елементів, так і всієї конструкції в цілому. Також це дозволить здійснювати технічне обслуговування об'єктів інженерної інфраструктури водогосподарсько - гідромеліоративних систем за фактичним станом, а не згідно нормативних термінів, які не завжди відповідають дійсності [5-8].

Концепція побудови та структури автоматизованої системи дистанційного моніторингу та контролю технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури гідромеліоративних систем (див. Рис.1) містить автоматизовану систему опитування датчиків (АСО) та інформаційно-діагностичну систему (ІДС), що працює в локальній або корпоративній комп'ютерних мережах і є інтегрованою на програмному рівні, при цьому АСО здійснює наскрізну передачу даних від первинних датчиків до центрального серверу збору даних. На виході з сервера збору даних АСО інтегрується з ІДС. В цілому, автоматизованої системи дистанційного моніторингу та контролю технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури гідромеліоративних систем являє собою автоматизовану систему «відкритого типу», що забезпечує можливість поетапного розвитку

системи, взаємозамінність апаратних і програмних засобів і сумісність з АСУ іншого рівня [5-6].

АСО являє собою розподілену систему дистанційного моніторингу та контролю, яка побудована за технологією так званої «промислової мережі», що забезпечує надійний захист від перешкод, здешевлення і спрощення робіт з монтажу та експлуатації системи автоматики. «Промислова мережа» здійснює фізичне об'єднання вимірювальних, комунікаційних і керуючих пристроїв та дозволяє використовувати відкриті програмно-логічні протоколи обміну інформацією.

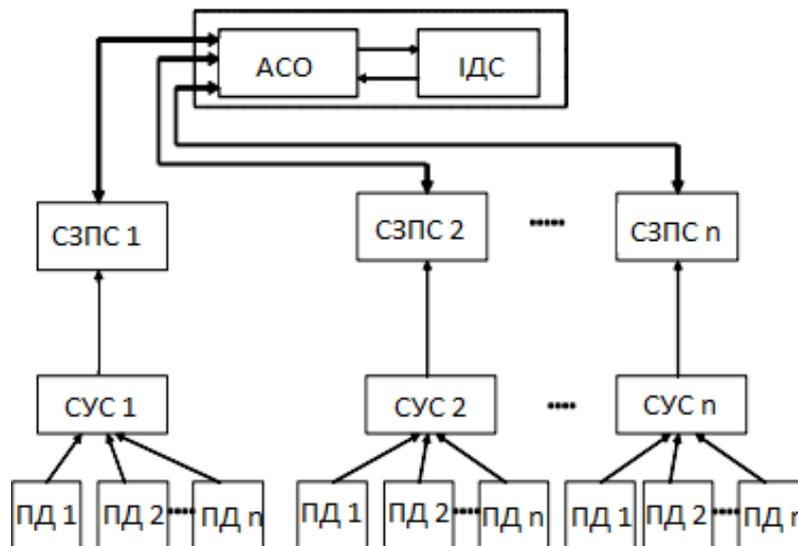


Рис.1. Принципова структурна схема автоматизованої системи дистанційного моніторингу та контролю технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури водогосподарсько - меліоративного комплексу: АСО - автоматизована система опитування датчиків; ІДС - інформаційно-діагностична система; СЗПС – система збору і передачі сигналів; СУС – система узгодження сигналів; ПД – первинний датчик.

Автоматизована система дистанційного моніторингу та контролю технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури водогосподарсько - меліоративного комплексу структурно складається з чотирьох рівнів:

- 5) перший нижній рівень - контрольно-вимірювальна апаратура, що містить первинні датчики, вимірювальні пристрої, тощо;
- 6) другий рівень - система узгодження сигналів служить для виділення і перетворення сигналів (у цифровий вид) з врахуванням виду перетворення сигналу;
- 7) третій рівень - система збору і передачі сигналів, що являє собою систему телекомунікацій, перетворення і передачі інформації в цифровому коді на центральний блок збору даних АСО;

- 8) четвертий верхній рівень - програмно-технічний комплекс, що містить центральний блок автоматизованого опитування та інформаційно-діагностичну систему контролю безпеки об'єктів інженерної інфраструктури водогосподарсько - меліоративного комплексу з відповідним комп'ютерним і програмним забезпеченням.

### Література

9. Інструкція з обліку та оцінки стану меліорованих земель і меліоративних систем // ВНД 33-5.5-13-2002. Державний комітет України по водному господарству. Введений на заміну ВНД 33-5.5-05-98 «Облік та оцінка меліоративного стану зрошуваних і осушуваних угідь та технічного стану гідромеліоративних систем». К., 2002. – 35 с.
10. Методика оцінки технічного стану каналів меліоративних систем: посіб. До ДБН В.2-4-1-99 «Меліоративні системи та споруди» / УААН, ІГіМ. – К., ДП «Інформ.-аналіт. агентство», 2009. – 44с.;
11. Методика проведення натурних обстежень насосних станцій та гідротехнічних споруд на магістральних каналах меліоративних систем. Київ: Держводагетство України. 2013. 27 с.
12. Крученюк В.Д. Сучасний стан та перспективи відновлення ГТС водогосподарсько-меліоративного комплексу / Крученюк В.Д. та ін.// Водне господарство України. 2013. № 3. С. 34-37.
13. Кузьмич Л.В. Сучасні тенденції створення приладових систем вимірювання механічних величин [Текст] / Л.В.Кузьмич // Вісник Інженерної Академії України. Київ, 2016. – №2. – С. 180-184.
14. L. Kuzmych; O. Kobylanskyi; M. Duk. Current state of tools and methods of control of deformations and mechanical stresses of complex technical systems. Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018, 108085J (1 October 2018); doi: [10.1117/12.2501661](https://doi.org/10.1117/12.2501661)
15. Rus, G. Optimized damage detection of steel plates from noisy impact test [Text] / G. Rus, S. Y. Lee, S. Y. Chang, S. C. Wooh // International Journal for Numerical Methods in Engineering. - 2006. - Vol. 68, Issue 7. - P. 707-727. doi: [10.1002/nme.1720](https://doi.org/10.1002/nme.1720).
16. Дехтяр О.О., Брюзгіна Н.Д. Сучасний стан гідротехнічних споруд та відновлення їх функціональної здатності // Сучасний стан та перспективи розвитку водного господарства. Міжнародна науково-технічна конференція. Дніпропетровськ, 2016. С. 24-26.

# МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ ПРЕЦЕНЗІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ ПІСЛЯ ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ

Паращанов В.Г. м.н.с.

Національний авіаційний університет, real@nau.edu.ua

Метрологічне забезпечення системи управління якістю прецензійних деталей в процесі їх випробування визначаються багатьма факторами, серед яких найбільш істотними бувають, точність контрольно вимірювальної апаратури, вимоги до допусків на параметри виробу, ефективності прямих і зворотних інформаційних зв'язків в системі та можливість оперативного управління технологічним процесом

Аналіз по метрологічному забезпеченню був приведений в цілій низці літературних видань.

Під метрологічним забезпеченням випробувань розуміється встановлення і застосування наукових і організаційних основ, технічних засобів, метрологічних правил і норм, необхідних для отримання достовірної вимірювальної інформації про значення показників якості та безпеки продукції та послуг, а також про значення характеристик факторів, що впливають і режимів функціонування об'єкта при випробуваннях, інших умов випробувань.[2]

Тому забезпечення якості продукції та метрологічне забезпечення виробництва є взаємопов'язаними і визначають з необхідною точністю всі властивості і стани на кожному з етапів виробничого процесу. Дотримання встановлених в технологічній документації значень параметрів технологічних процесів визначають властивості продукції, її якість і надійність.[1]

## **Основні завдання метрологічного забезпечення випробувань:**

- створення необхідних умов для отримання достовірної інформації позначення показників якості та безпеки продукції при випробуваннях;
- розробка методів випробувань, що забезпечують отримання результатів випробувань з похибкою і відтворюваністю, які не виходять за межі встановлених норм;
- розробка програм випробувань, що забезпечують отримання достовірної інформації про значення показників якості і безпеки продукції та їх відповідність встановленим вимогам;
- проведення метрологічної експертизи програм і методів випробувань;
- забезпечення повірки засобів вимірювальної техніки, які використовуються в сферах поширення державного метрологічного контролю і нагляду і застосовуваних для контролю параметрів випробуваної продукції,
- характеристик умов випробувань, умов і параметрів безпеки праці та стану навколишнього середовища; забезпечення калібрування засобів вимірювальної техніки, що не підлягають державному
- метрологічного контролю і нагляду.[3]

Під програмуванням випробування розуміють взаємопов'язаний комплекс процесів послідовної і безперервної деталізації (специфікації) і реалізації моделі метрологічного забезпечення випробування. На рис. 1 дані етапи життєвого

циклу процесу програмування метрологічного забезпечення випробовування прецензійних деталей. Система програмування здійснює паралельно-послідовне узгодження процесів аналізу параметрів випробовування, проектування бажаних результатів, формування програми і планів, управління параметрами відновлення.

Програма - це комплекс операцій (процесів), що реалізують алгоритм вирішення випробовування прецензійних пар, забезпечених виділеними ресурсами і виконавцями, які використовуючи наявні засоби виробництва і спрямованих на ефективну і надійну реалізацію необхідних результатів із заданими показниками якості. У процесі програмування випробовування спряжених деталей відбувається уточнення, деталізація всіх елементів і зв'язків, що становлять цілісність системи діагностики та випробування після відновлення, на кожному з етапів життєвого циклу систематично формуються специфікації відповідей на питання «чому», «що і як», визначаються причини (мотиви), цілі (стимули).

При випробуванні з'являються різні фактори та похибки при вимірюванні прецензійних деталей після відновлення. Одна з похибок це час підготовки обладнання для вимірювання параметрів.

Вимірювання при експлуатації пристроїв направлено на досягнення необхідної готовності цих пристроїв їх характеристики (точність і швидкодія) визначають достовірність і тривалість контрольних і діагностичних операцій, тому кількісно оцінити ефективність використання засобів вимірювання можна по коефіцієнту готовності пристрою  $K_r$ , оскільки він розглядається, як функція показників достовірності і тривалості вимірювання та контролю.

#### **Література:**

1. Гонсьор О.Й. Метрологічне забезпечення якості виробництва / О.Й. Гонсьор, М.М. Микійчук // Національний університет "Львівська політехніка" – Л ЛП, - 2009. Вип №639 – С. 201-205.
2. Логин В.В., Чепульский Ю.П., Андреев П.А. Метрологическое обеспечение предприятий: Учебное пособие/ Под ред. В.А. Карпычева. - М.: МГУПС (МИИТ), 2016.  
- 289 с., илл.
3. Метрологическое обеспечение и контроль качества материалов и изделий: монография / Н.Г.Никуличева [и др].; под общей редакцией д.т.н., проф. В.Т. Прохорова.– Шахты: Изд-во ГОУ ВПО «ЮРГУЭС» – с.164

## РОЗРОБКА ВИМОГ ДО 3-Д ЗРАЗКА ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ МАШИНИ З УРАХУВАННЯМ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ

Сковородкіна Ю.Н., інженер 1 кат.  
ННЦ «НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР»,  
[julia\\_skov@ukr.net](mailto:julia_skov@ukr.net)

Сучасне виробництво неможливо уявити без промислового моделювання продукції. З появою 3D-технологій виробники отримали можливість значної економії матеріалів і зменшення фінансових витрат на інженерне проектування. З допомогою 3D-моделювання створюються тривимірні зображення деталей і об'єктів, які в подальшому можна використовувати для створення прес-форм і прототипів об'єкту.

Методи підходів до початку моделювання:

Сучасне програмне забезпечення дозволяє використовувати незалежно від алгоритму моделювання різноманітні підходи для побудови моделі.

- Примітиви — моделювання за допомогою простих геометричних фігур (кулі, циліндри, конуси тощо), які використовуються як цеглинки при побудові складніших об'єктів. Перевагою методу є швидка та легка побудова, а також те що моделі є математично визначені і точні. Підходить до технічного моделювання і менше для моделювання органіки. Деякі програми можуть рендерити з примітивів напряду, інші використовують примітиви тільки для моделювання, а пізніше конвертують для подальшої роботи або рендерингу.

- 3D-сканування.

3D-моделювання— це процес розробки математичного представлення будь-якої тривимірної поверхні об'єкта за допомогою спеціалізованого ПЗ. Продукт моделювання є 3D-модель. Вона може бути представлена у вигляді програмного коду або відображена у в'юпорті чи в'ювері, як 3D-модель,

3D-моделі представляють 3D-об'єкт використовуючи набір точок в 3D-просторі, поєднаних між собою різноманітними геометричними об'єктами, як от трикутниками, лініями тощо.

Базові можливості системи включають в себе функціонал, який дозволяє спроектувати виріб будь-якого ступеня складності в 3D, а потім оформити на це виріб комплект документації, необхідний для його виготовлення відповідно до діючих стандартів (1).

Стандарти моделювання відіграють важливу роль у визнанні узгоджених концепцій моделювання систем, які орієнтуються на конкретну сферу інтересів і забезпечення інтеграції різних типів моделей. Стандарти моделювання дозволяють організувати міжгалузевий, між проектний зв'язок. Цей зв'язок дає можливість зменшити вимоги до навчання працівників та дозволяє повторити використання моделей.

Всім розробникам засобів і систем моделювання пропонується слідувати стандартам HLA.

Стандарти HLA – це сукупність методик, угод, алгоритмів, які дозволяють узгодити використання вже існуючих, і різних за своєю суттю моделей та систем моделювання для скорочення часу на розробку нової системи моделювання.

Крім того, технологія HLA дозволяє створити розподілені і інтерактивні системи моделювання.

Координатно-вимірювальні машини повинні бути відкалібровані з такою точністю і такими методами, які задовольняють замовника своїми достовірними результатами вимірювань.

Калібруються дві технічні характеристики КВМ: похибка показань розміру, що вимірюється і похибка щупа.

Для проведення калібрування координатно-вимірювальних машин (КВМ) існуючими методами (відповідно до ISO 10360-2 (2)) необхідні великі технічні та матеріальні ресурси.

Підхід забезпечення єдиного зразка для калібрування КВМ за допомогою 3-Д моделювання є значно економічним та зменшує час на проведення калібрування.

3-Д зразок для калібрування КВМ повинен відповідати одночасно всім вимогам:

- забезпечення необхідної точності калібрування;
- висока продуктивність (час на калібрування);
- економічність;
- легкість використання;
- повнота оцінки отриманих даних;

Актуальним завданням сьогодні є вибір економічно обґрунтованого методу калібрування координатно-вимірювальної техніки з забезпеченням необхідної точності для промислових підприємств.

Розглянуто питання калібрування координатно-вимірювальних машин (КВМ) за допомогою 3-Д зразка відповідно до вимог ISO 10360-2 (2).

Розглянуто вимоги до створення 3-Д зразка.

## Література

1. <https://sites.google.com/site/3dmodeluvana/realizacia-3d-modeluvanna-sferi-ta>
2. ISO 10360-2:2006 Технические требования к геометрии изделий (GPS). Приемные и контрольные испытания координатно-измерительных машин. Часть 2. Координатно-измерительные машины для измерения размеров (ISO 10360-2:2001, IDT)
3. МКУ 01-416:2016 Метрология. Координатно-измерительные машины. Методика калибровки.

## **СЕКЦІЯ 4**

Енергетика,  
електротехнічні системи,  
світлотехніка

## IMPLEMENTATION OF THE NEURAL NETWORKS FOR FORECASTING OPERATING REGIMES OF WIND POWER PLANT

**Kulakovskiy Leonid**, PhD, NTU of Ukraine «I.Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,  
[l.kulakovskiy@kpi.ua](mailto:l.kulakovskiy@kpi.ua)

Ukraine has a huge potential for wind energy development. However, the process of integration of wind farms into the unified energy system of Ukraine complicates with the variability and uncontrolled nature of the main energy resource – wind. So, it not allows to increase the share of wind energy in the overall energy balance of the country. It is necessary to forecast the wind speed and apply this data in control system of wind plant for increasing the efficiency of wind farm.

Wind turbines can have two main operating regimes: operation with constant and variable speed of the wind turbine rotation. Working zones are shown on the energy characteristics of wind turbines (Fig. 1) [1].

Zone 2 is an operating mode. This mode allows to generate the maximum possible amount of electricity. Two principles of wind turbine control can be used in zone 2: rotation of the nacelle in the horizontal plane and change of the generator's torque.

Operation in zone 3 occurs at a wind speed above the nominal. It means that wind speed is about level at which the maximum amount of energy is produced. So, control of excessive aerodynamic torque in zone 3 can be achieved by changing the attack angle of the blade. The efficiency of power generation in zone 2 is significantly reduced for installations with a constant speed.

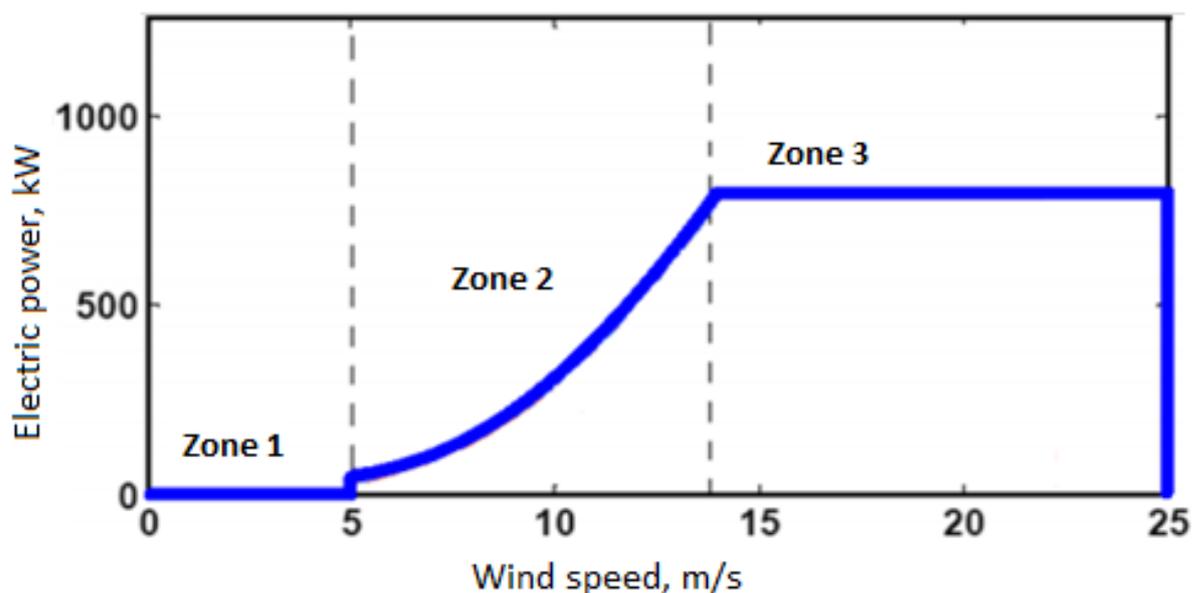


Fig. 1 – Energy characteristics of wind turbines

According to [2], operation in partial and full load modes must meet such control principles as maximizing the power coefficient, limiting the rotation speed and mechanical torque of the turbine.

The turbine operates at maximum efficiency when optimum rotation speed is achieved  $\lambda_{opt}$ . The main purpose of control can be maintaining the speed of the impeller ( $\Omega_{hopt}(t)$ ) within its optimal value,  $\lambda_{opt}$  [3]:

$$\Omega_{hopt}(t) = i \cdot \frac{\lambda_{opt}}{R} \cdot u(t) \tag{1}$$

where  $u(t)$  – instantaneous wind speed,  $i$  – gear ratio of the hard drive,  $R$  – radius of the area that captures the wind wheel.

Therefore, it is established that for optimal control it is necessary to determine the regimes, modes and zones of wind turbines operation and apply the appropriate control principle.

Information about the characteristics of the wind in the short term will allow to determine in advance the optimal regimes of wind turbines operation and apply appropriate control algorithms in case of wind parameters change. It is necessary to provide an expert system that can determine the optimal operation regimes.

The system that can be expert for deciding on the transition to a certain regimes and logic control is artificial neural networks (ANN) (fig 2).

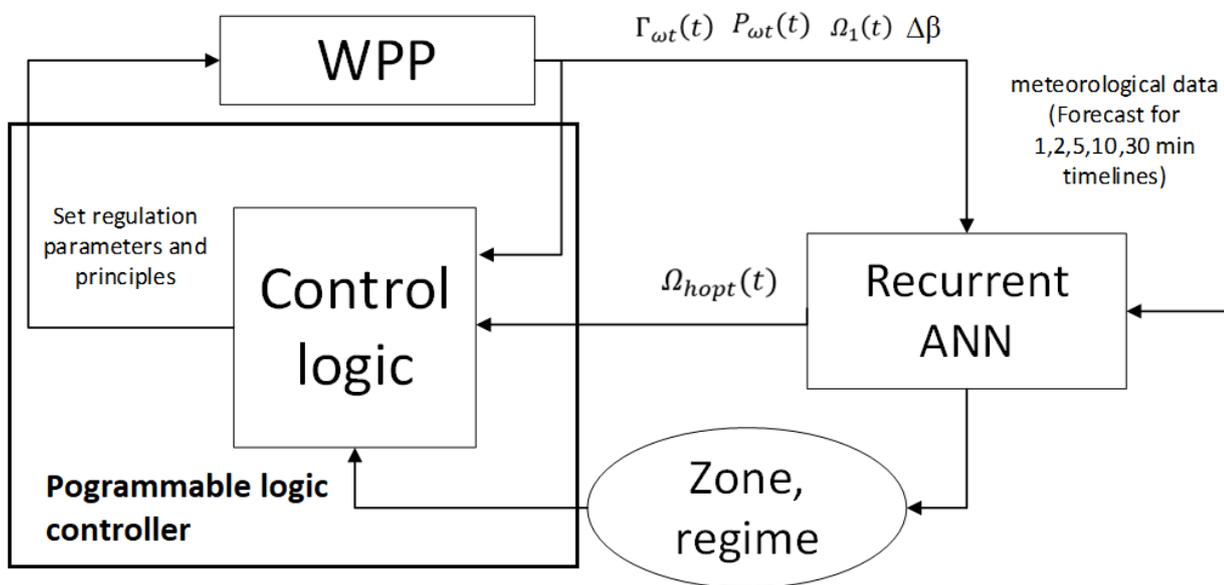


Fig. 2 – Control system of a wind power plant with ANN for determining the required operating regimes,

where  $\Gamma_{wt}(t)$  – mechanical torque of the turbine,  $P_{wt}(w)$  – partial load during the day,  $\Omega_1(t)$  – rotational speed,  $\Omega_{hopt}(t)$  – optimal rotational speed,  $\Delta\beta$  – rotation angle of the blades

The neural network receives meteorological data from meteorological station. This ANN also uses data from the wind farm in real time. It can receive as input data the forecast of wind parameters for time intervals from 1 to several minutes.

The recurrent neural networks (RNN) are used in the system. Those RNN allow to consider the degree of importance of each input time series to determine the required regime. One of the best ideas of RNNs is that they know how to relate previous information to the current task [4].

The neural network in control system analyzes the forecast wind parameters and sets the time when they change. For those time, the parameters of the wind turbine operation are determined.

Based on these data, the optimal zone, parameters and operation regime of the wind turbine that set in the programable logic controller (PLC) is predicted.

The operation of wind power plant (WPP) in this regime will continue until the neural network records the next changes in weather forecast that causes the change of operation regimes and zones of WPP. The obtained data is sent to the WPP control system.

The controller will automatically begin to implement the appropriate control logic by changing the rotation angle of the blades or the electrical characteristics of the generator to ensure the future required output parameters of the system.

Therefore, the control system of WPP with neural networks provides the ability to select operating parameters beforehand that will ensure timely capture of wind energy with minimal energy losses and minimum over-regulation of the system.

## References

1. Sorensen P. Wind farm models and control strategies/ P. Sorensen, A.D.Hansen, F. Iov, F. Blaabjerg, M.H. Donovan // Technical Report RISO– R–1464(EN), RISO National Laboratory, Roskilde, Denmark, 2005.
2. Sharma R.N. The Concept of a Smart Wind Turbine System/ R.N. Sharma, U. Madawala// 16th Australasian Fluid Mechanics Conference, Crown Plaza, Gold Coast, Australia, December 2–7, 2007. – p. 481–486.
3. Munteanu I. Optimal control of wind energy systems: Advances in Industrial Control/ I. Munteanu, A. I. Bratcu, N-A. Cutululis, E. Ceanga// series ISSN 1430-9491– Springer-Verlag London Limited, 2008. – p.284.
4. F. Visin, K. Kastner, K. Cho, M. Matteucci, A. Courville, and Y. Bengio, “Renet: A recurrent neural network based alternative to convolutional networks,” arXiv preprint arXiv:1505.00393, 2015.

# МОДЕЛЮВАННЯ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ВП ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ ІМОВІРНОСТІ ВІДМОВИ

Бірюков А.О., студент, НАУ, [drot98@ukr.net](mailto:drot98@ukr.net)

Анотація — робота присвячена розгляду проблеми підвищення надійності роботи теплових та атомних електричних станцій. В роботі запропоновано оцінити імовірність параметричної відмови КЛ при змінній опорі ізоляції як на інтервалі спостереження так і в прогностичний період. Здійснюється на основі використання теорії часових рядів.

Ключові слова — імовірність відмови, лінійний тренд, дисперсія, математичне очікування випадкової величини, кабельна лінія .

## Вступ

На сьогоднішній день на ТЕС і АЕС з реакторами ВВЕР в ланцюгах живлення електродвигунів ВП встановлені силові кабельні лінії просоченою паперовою ізоляцією. Основними механізмами старіння силових кабелів в нормальних умовах експлуатації є теплове і електричне старіння за рахунок чого збільшується ризик їх відмови, що може призвести до відмови електродвигунів ВП з порушенням технологічного режиму станції.

Для силових кабелів з паперово-масляною ізоляцією на ТЕС і АЕС виконуються роботи з обстеженням ТС кабелів вкладених в кабельні траси і випробування і дослідження зразків кабелів, в лабораторних умовах.

При цьому виконуються наступні види обстежень: зовнішній огляд кабельних трас; вимірювання опорі ізоляції кабелів, вкладених в кабельні траси; вимірювання часткових ємностей кабелів; обстеження ПВХ оболонки кабелів з допомогою твердоміра; оцінка відновлювальної напруги.

## Постановка проблеми

На сьогоднішній день зношення основного електрообладнання енергосистем складає 60-70%. Темпи зростання зношення складають 2-6% на рік від загальної кількості. Зношення обладнання викликає додаткові витрати електроенергії, зниження ефективності функціонування обладнання. Вірогідність виникнення аварій стає дуже високою. Під час роботи доцільно вести облік випадків виникнення ризику в електроенергетиці і аналізувати причини, які приводять до появи ризику. Необхідно накопичувати і узагальнювати фактичні дані про наслідки ризику в електроенергетиці. Необхідно продовжувати роботи по розробці розрахункових виразів для визначення чисельних значень ризику і створенню на їх базі методик розрахунку ризику для різноманітних випадків, що зустрічаються на практиці. Тому потрібне впровадження заходів на підтримання необхідного технічного стану електрообладнання та продовження терміну експлуатації. Забезпечити ці вимоги можливо застосуванням ефективного контролю змінення визначальних і діагностичних параметрів. Для забезпечення безвідмовної роботи кабельних

ліній необхідна розробка моделей імовірності відмови та прогнозування вичерпання ресурсу працездатності.

### Основна частина

Оцінка імовірності параметричної відмови КЛ при змінненні опору ізоляції як на інтервалі спостереження так і в прогнозний період здійснюється на основі використання теорії часових рядів за наступним алгоритмом.

1. Визначення коефіцієнтів лінійного тренду:

$$f(t) = \alpha_0 + \alpha_1 t; \hat{\alpha}_0 = \bar{y} + \hat{\alpha}_1 \bar{t}, \hat{\alpha}_1 = \frac{\sum_{t=1}^n y_t(t-\bar{t})}{\sum_{t=1}^n (t-\bar{t})^2}, \bar{t} = \frac{n+1}{2}$$

2. Оцінка дисперсії випадкової складової:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2.$$

де  $\hat{\sigma}^2$  – повне середньоквадратичне відхилення.

3. Точковий прогноз детермінованої складової:

$$\hat{f}(n + \tau) = \bar{y} + \hat{\alpha}_1(n + \tau - \bar{t}); M\hat{f}(n + \tau) = \alpha_0 + \alpha_1(n + \tau)$$

4. Інтервальний прогноз детермінованої складової:

$$\hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1(n + \tau) - t_p \hat{\sigma}_{\hat{f}(n+\tau)} < f(n + \tau) < \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha}_1(n + \tau) + t_p \hat{\sigma}_{\hat{f}(n+\tau)}$$

$$\hat{\sigma}_{\hat{f}(n+\tau)} = \sigma \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(n+\tau-\bar{t})^2}{\sum_{t=1}^n (t-\bar{t})^2}} \hat{\sigma}_{\hat{f}(n+\tau)}$$

прогнозне середньоквадратичне відхилення.

5. Імовірність відмови силового кабеля в момент спостереження:

$$f(R_{i3}(t)) = \frac{1}{\sigma_{R_{i3}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(R_{i3} - m_{R_{i3}})^2}{2\sigma_{R_{i3}}^2}}$$

$$P(-\infty < R_{i3}(n + \tau) < R_{i3, \text{доод}}) = \int_{-\infty}^{R_{i3, \text{доод}}} f_{n+\tau}(R_{i3}) dR_{i3}$$

де  $m_{R_{i3}}$  - математичне очікування випадкової величини;  $\sigma_{R_{i3}}$  - середньоквадратичне відхилення.

В якості прикладу розглянемо кабельну лінію асинхронного двигуна циркуляційного насосу ВП. Загальна довжина даної лінії становить 280 м. Результати вимірювань опору ізоляції  $R_{i3}(t)$  кабельної лінії на протязі семи років спостереження представлені в таблиці.

Таблиця 1. Розрахункові дані для визначення імовірності відмови КЛ

Рік $t$	Фактичний опір ізоляції кабеля $R_{із}(t)$	$t \cdot R_{із,t}$	Вирівняний опір ізоляції $R_{із,trend}(t)$	Відхилення $R_{із}(t) - \hat{R}_{із,trend}(t)$	Квадрат відхилень $(R_{із}(t) - \hat{R}_{із,trend}(t))^2$	Імовірність відмови на інтервалі спостереження $P_{вРіз}$
1	1000	1000	997,74	2,25	5,06	
2	900	1800	944,64	-44,64	1993	
3	840	2520	891,53	-51,35	2655	
...						
13	320	4160	360,46	-40,46	1637	0,00062
14	310	4340	307,35	2,64	6,97	0,0154
15	230	3450	254,24	-24,24	854,078	0,1375
$\Sigma$	9390	60250			32119,85	

$R_{із}(t), R_{ізмр}(t)$

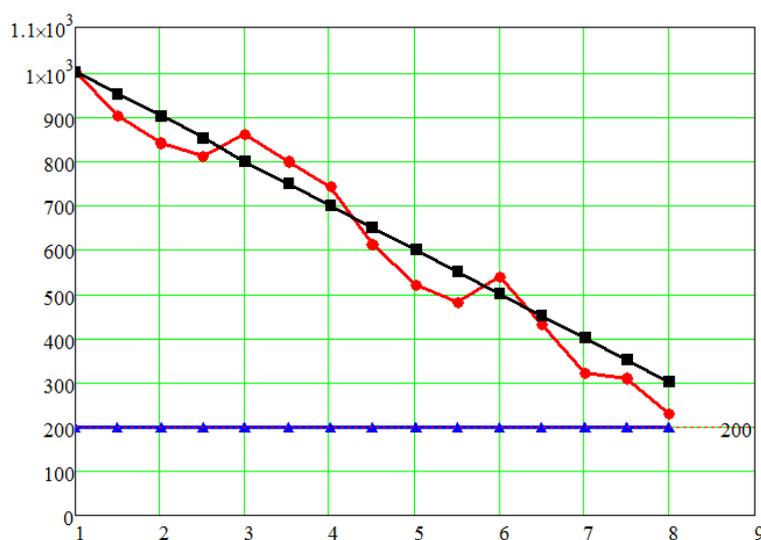


Рис. 1 Динаміка зміни опору ізоляції кабельної лінії на інтервалі спостереження

### Висновки

Для забезпечення безвідмовної роботи кабельних ліній необхідна розробка моделей імовірності відмови та прогнозування вичерпання ресурсу працездатності. На основі використання теорії часових рядів було побудовано модель та визначено імовірність відмови КЛ на інтервалі спостереження.

### Література

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов. — 6-е изд. стер. — М.: Высш. шк., 1999. — 576 с.
2. Кобыляков, А.А. Причины старения изоляции силовых кабелей электрических сетей 6-10 кВ Текст. /А. А. Кобыляков //Электробезопасность. 2001. — № 4. - С. 47—51.

**ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ****Борковська Л.О.**, к.т.н., доцент, НАУ, **Борковський О.В.**,**Кочеткова О.В.**, к.т.н., НАУ, [kvp@nau.edu.ua](mailto:kvp@nau.edu.ua)

На сучасному етапі розвитку України спостерігається збільшення споживання електричної енергії та, як наслідок, зростання навантаження на електроенергетичне обладнання. Забезпечення надійного енергозабезпечення і якості електричної енергії являється метою діяльності системи оперативно-диспетчерського керування в електроенергетиці, а єдина національна електрична мережа забезпечує стійке забезпечення електроенергією користувачів, технологічно приєднаних до електромереж. Але існуючі технічні проблеми викликають необхідність розробки і впровадження методів діагностики обладнання та прогнозування його працездатності, організації нових форм технічного обслуговування і ремонтів зношеного енергообладнання, автоматизації і інформатизації процесів керування, перерозподілу обсягів інвестицій [1,2].

Під час експлуатації обладнання особлива увага приділяється контролю за його технічним станом, забезпечуючи цим необхідний рівень надійності роботи енергосистеми. Таким чином, на сучасному етапі розвитку енергетики підвищується актуальність питань контролю дефектів силових трансформаторів.

Основною складовою частиною сучасних електричних систем є силові трансформатори, для виробництва яких використовують дорогі матеріали: електролітичну мідь, високоякісну холоднокатану електротехнічну сталь, трансформаторну оливу високого ступеня очищення тощо. Велика кількість потужних силових трансформаторів експлуатується з перевищенням розрахункового терміну служби, разом з тим відзначається, що замінювати трансформатор після закінчення його терміну експлуатації в більшості випадків недоцільно [3,4].

Сумарна потужність силових трансформаторів у зв'язку з їх багаторазовою трансформацією електричної енергії в багато разів перевищує генераторну потужність. В процесі експлуатації силовий трансформатор також піддається різноманітним зовнішнім впливам серед яких найбільш впливовими є: фізичні і хімічні забруднення, вітер, зволоження, зміни температурного режиму [5]. Окрім зовнішніх впливів силові трансформатори піддаються внутрішнім впливам, таким як перенапруга, зумовлені резонансом, петлею гистерезису, перенавантаженням, тощо.

Основними видами дефектів силових трансформаторів викликаними зовнішніми впливами, являються:

- в обмотках: вигорання витків внаслідок коротких замикань, деформації при коротких замиканнях, зволоження і забруднення обмоток, зношення і зниження механічної та електричної міцності;

- в магнітопроводі: перегрів сердцевини при виникненні контуру

короткого замикання;

– в пристрої регулювання під напругою: порушення контактів, порушення ізолюючої перегородки, розгерметизація пристрою, механічні пошкодження;

– в інших вузлах: порушення герметичності бака, перегрів контактих з'єднань, течі масла, зволоження і забруднення негерметичних ввідів, відкладення осаду на герметичних вводах, старіння масла в герметичних вводах, розгерметизація сифонів.

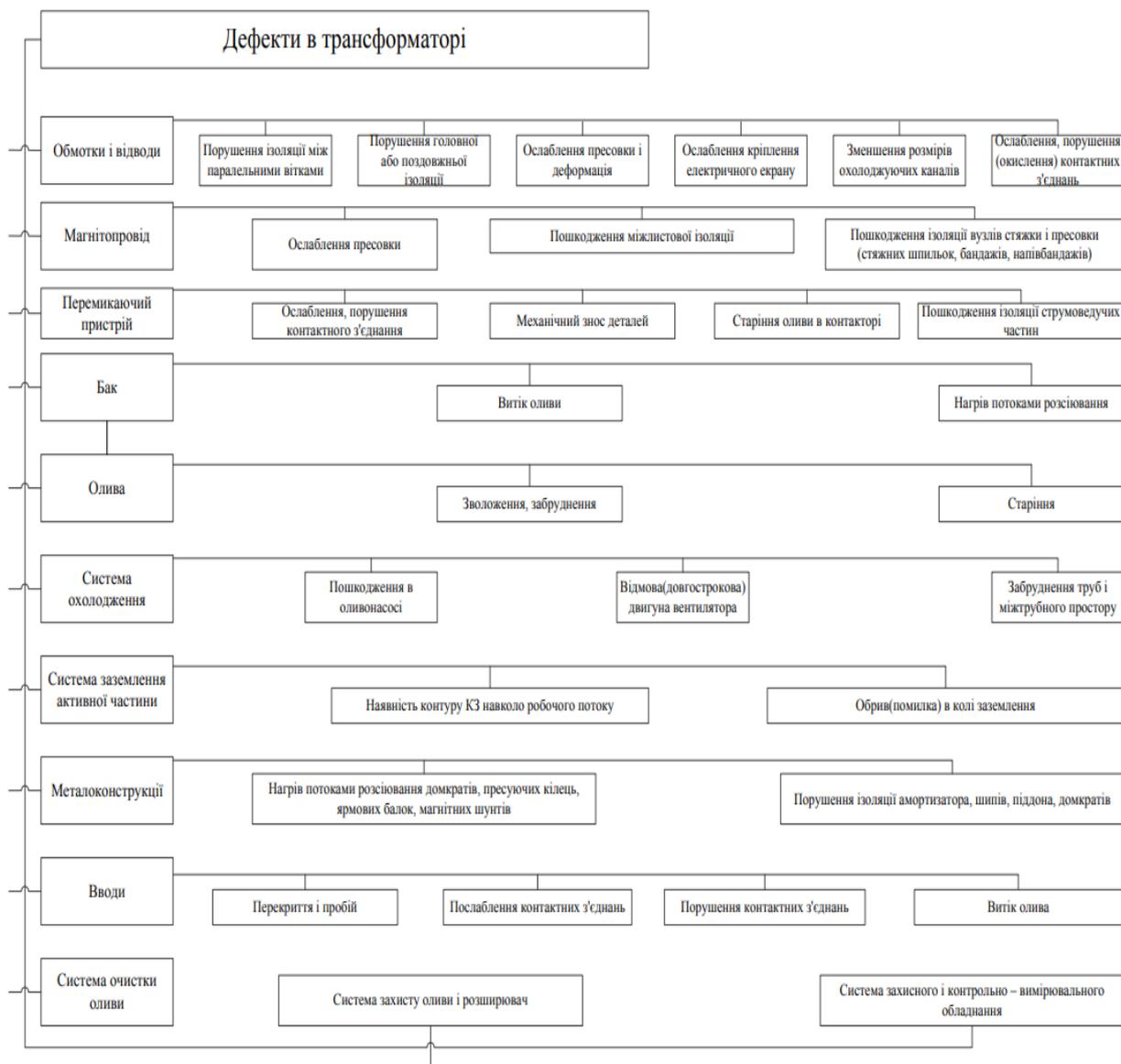


Рис.1 Класифікація дефектів силових трансформаторів

Класифікація дефектів в автоматизованих системах діагностики повинна сприяти послідовному залученню різних діагностичних методів для найбільш достовірного та економічного їх виявлення і оцінки ступеня небезпеки, а також для максимально точної локалізації місця дефекту. Дослідження дефектів в силових трансформаторах та аналіз різних запропонованих класифікацій в [6,7] показав, що такі класифікації мають ряд недоліків. Логічна схема класифікації

дефектів трансформаторів, яка наведена в [6] не пов'язує пошкодження з конкретними конструктивними елементами трансформатора. В [7] дефекти в значній мірі дублюються для кожної конструктивної системи трансформатора.

Запропонована система класифікації дефектів (рис.1) враховує ряд найчастіших дефектів силових трансформаторів та причини їх виникнення.

Для визначення перспективної тенденції зміни працездатності трансформаторів розглянуто зміну надійності силових трансформаторів з використанням моделей на основі штучного інтелекту.

Отримані результати потребують вироблення рекомендацій як за умовами експлуатації, так і за режимами роботи силових трансформаторів, що можуть бути реалізовані на основі програмно-апаратних засобів діагностики стану, аналізу працездатності і перспективності експлуатації.

### Література

1. Пронь В.В. Проблемы организации эксплуатации изношенного электрооборудования: Проблемы экономики, организации и управления в России и мире / В.В. Пронь, В.Г. Сазыкин, А.Г. Кудряков, А.В. Сильченков // Материалы VI международной научно-практической конференции. – Прага, Чешская Республика: Изд. WORLD PRESS s.r.o., 2014. – С. 179–183.
2. Осотов В.Н. Основные направления совершенствования системы диагностики силового электротехнического оборудования / В.Н. Осотов // Электрические станции. – 1997. – №5. – С. 52–54
3. Львов М.Ю. Развитие системы нормативно-технической документации для обеспечения эксплуатационной надежности силовых трансформаторов и автотрансформаторов напряжением 110 кВ и выше / М.Ю. Львов, Ю.Н. Львов, А.В. Черезов // Электрические станции. – М., 2013. – №11. – С. 49-55.
4. Сазыкин В.Г. Системный подход к проблеме изношенного электрооборудования / В.Г. Сазыкин // Электрика. – 2001. – № 4.
5. Туйгунова А.Г. О необходимости мониторинга состояния изоляции силовых трансформаторов тяговых подстанций с учетом влияния климатических факторов / А.Г. Туйгунова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск, 2011. – №4. – С. 122-127.
6. Турин В. В., Соколов В. В. Обследование силовых трансформаторов в эксплуатации // Электротехника. - 1994. - № 9. - С. 43-18.
7. Классификация дефектов в силовых масляных трансформаторах / Л. Виноградова, Е. Б, Игнатъев, Т. Лхамсурэнгийн, Г.В.Попов //Высоковольтная техника и электротехнология / ИГЭУ. - Иваново, 1999. - С. 14-21

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ КОМУТАЦІЇ IGBT У СКЛАДІ ТРИФАЗНОГО ІНВЕРТОРА НАПРУГИ****Василець С.В.**, д.т.н., професор, **Василець К.С.**, асистентНаціональний університет водного господарства та природокористування,  
[svyat.vasilets@gmail.com](mailto:svyat.vasilets@gmail.com)

На сьогоднішній день у складі електромереж, електротехнічних пристроїв та робототехнічних комплексів функціонує велика кількість напівпровідникових інверторів напруги. Такі пристрої використовуються у складі сонячних, вітрових електростанцій, промислового електроприводу, електромобілів, виконавчих механізмів роботів, зварювальних апаратів, джерел безперебійного живлення. В якості силових ключів у складі інвертора найчастіше використовуються біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT). Такі прилади випускаються на напругу до 6,5 кВ та струм до 3,6 кА.

Характерною особливістю IGBT є наявність паразитних ємностей між виводами пристрою, що вносить додаткову інерційність у процес перемикання транзистора. Величина таких ємностей динамічно залежить від прикладеної напруги.

Аналіз стану питання дозволив встановити, що наявність вказаних паразитних ємностей адекватно враховується тільки моделями, що беруть до уваги безпосередньо фізичні процеси в напівпровідниковій структурі [1]. Але оскільки такі моделі є найскладнішими з точки зору чисельного моделювання, вони виявляються непридатними для практичного аналізу динамічних процесів в IGBT інверторах. Найбільш поширеними є асоціативні моделі напівпровідникових пристроїв, які відтворюють вхідні та вихідні характеристики IGBT наближеними залежностями [2]. Проте в більшості випадків такі моделі не враховують вплив паразитних ємностей на перемикання транзистора. В той же час, оскільки в інверторах з широтно-імпульсним керуванням за секунду кожен з силових транзисторів комутується декілька тисяч разів, ігнорування перехідних процесів під час комутації суттєво знижує точність аналізу.

Метою роботи є підвищення точності моделювання перехідних процесів при комутації силових ключів у складі інвертора напруги шляхом врахування паразитних ємностей силових біполярних транзисторів з ізольованим затвором.

Для моделювання автономного інвертора напруги з активним навантаженням використовується заступна схема, наведена на рис. 1. Схема включає моделі шістьох IGBT, кожен з яких представлено керованим джерелом напруги  $u_c$  із внутрішнім опором  $R_c$ . Кожне з вказаних джерел відповідає отриманому у роботі [3] матричному диференційному рівнянню стану транзистора зі зворотним діодом, що враховує динамічний характер паразитних ємностей. На основі першої матриці інцидентів графа заступної схеми інвертора, отримана матриця головних перетинів  $\mathbf{F}$ :

$$\mathbf{F} = \begin{array}{c|c} & \{R_{ch}\} \\ \hline \{U_c\} & \mathbf{F}_{U_c R_{ch}} \\ \{U\} & \mathbf{F}_{UR_{ch}} \\ \hline \{R_{ed}\} & \mathbf{F}_{R_{ed} R_{ch}} \end{array}, \quad (1)$$

де  $\mathbf{F}_{U_c R_{ch}} = -\mathbf{E}(6)$ ,  $\mathbf{F}_{UR_{ch}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$ ,  $\mathbf{F}_{R_{ed} R_{ch}} = [-\mathbf{E}(3) \quad \mathbf{E}(3)]$  – підматриці матриці головних перетинів;  $\mathbf{E}(x)$  – одинична матриця розміром  $x$ .

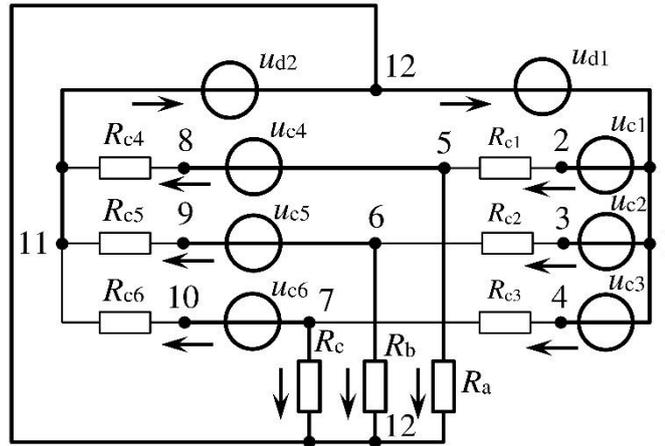


Рис. 1. Заступна схема трифазного автономного інвертора напруги з активним навантаженням

З використанням матриці головних перетинів формується матричне алгебраїчне рівняння, що описує заступну схему трифазного автономного інвертора напруги з активним навантаженням:

$$\mathbf{I}_R = \mathbf{A}_1^{-1} \cdot (\mathbf{A}_2 \cdot \mathbf{U} + \mathbf{A}_3 \cdot \mathbf{U}_c), \quad (2)$$

де  $\mathbf{A}_1$  -  $\mathbf{A}_3$  – матричні коефіцієнти, які дорівнюють:

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{E}(3) & \mathbf{F}_{R_{ed} R_{ch}} \\ -\mathbf{F}_{R_{ed} R_{ch}}^T \cdot \mathbf{R}_{ed} & \mathbf{R}_{ch} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{A}_2 = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}(3,2) \\ \mathbf{F}_{UR_{ch}}^T \end{bmatrix}; \quad \mathbf{A}_3 = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}(3,6) \\ \mathbf{F}_{U_c R_{ch}} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

при чому  $\mathbf{Z}(x, y)$  – нульова матриця з  $x$  рядками та  $y$  стовпчиками.

Чисельне моделювання процесів комутації силових ключів здійснювалося для мережі лінійною напругою 660 В при навантаженні інвертора 400 кВт. В результаті моделювання уточнено характер перехідних процесів перерозподілу напруги між суміжними силовими ключами під час паузи 1 мкс, що розділяє відключення одного ключа та включення суміжного та запобігає виникненню короткого замикання, рис. 2.

В ході подальших досліджень доцільно проаналізувати перехідні процеси в довгій кабельній лінії з двигуновим навантаженням, яка живиться від автономного інвертора напруги у складі перетворювача частоти, що відповідає реальним умовам експлуатації промислового електрообладнання.

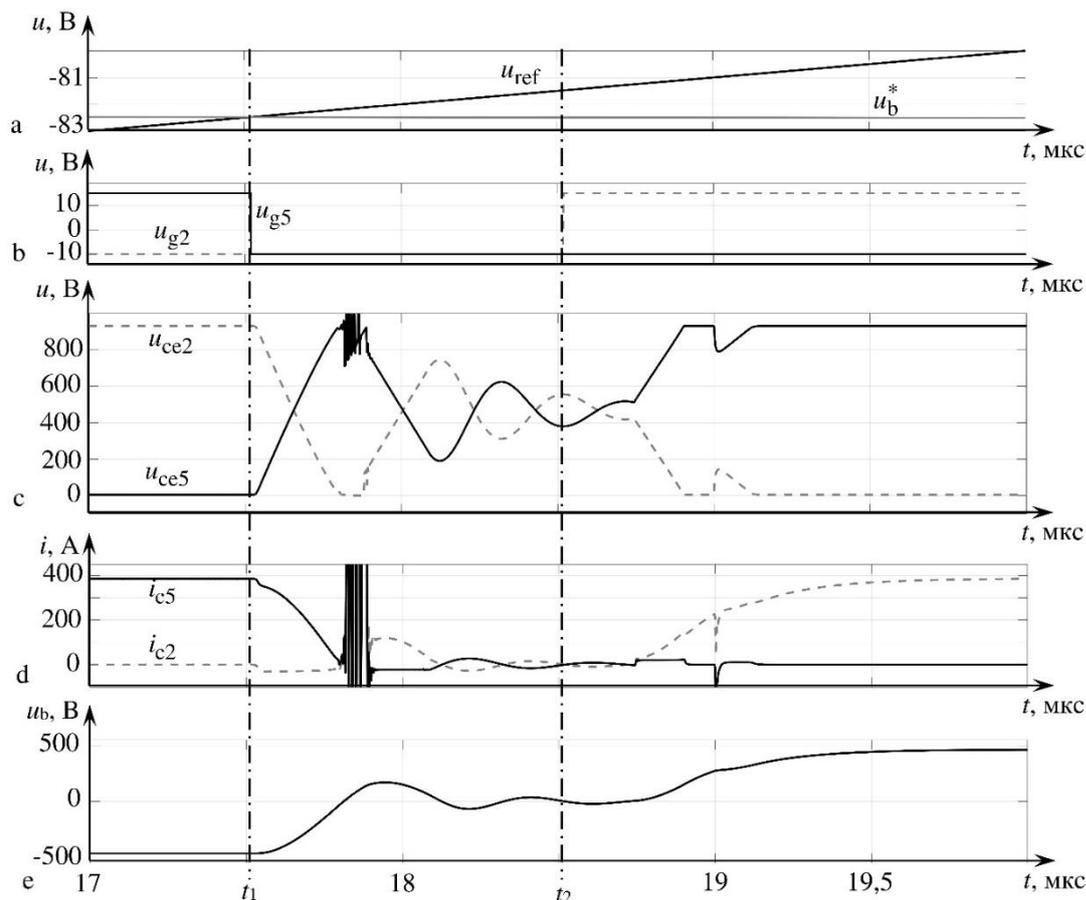


Рис. 2. Графіки миттєвих значень в функції часу  $t$ , отримані в результаті моделювання: а – опорна напруга  $u_{ref}$  та напруга завдання  $u_b^*$  фази В; б – напруги  $u_{g2}$  та  $u_{g5}$  керування транзисторами VT2 та VT5, відповідно; с – падіння напруги  $u_{ce2}$  та  $u_{ce5}$  на колекторно-емітерному переході транзисторів VT2 та VT5; д – колекторні струми  $i_{c2}$  та  $i_{c5}$  транзисторів VT2 та VT5; е – напруга  $u_b$  фази В навантаження

### Література

1. Ning P., Meng J., Wen X. A finite differential method based IGBT model in PSPICE. Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Charlotte, NC, USA, 15-19 March, 2015. IEEE, 2015. doi: 10.1109/APEC.2015.7104482.
2. Denz P., Schmitt T., Andres M. Behavioral modeling of power semiconductors in Modelica. Proceedings of the 10th International Modelica Conference. Lund, Sweden. 2014. Pp. 343-352. doi: 10.3384/ECP14096343.
3. Vasylets S., Vasylets K. Improvement of the mathematical model of single-phase half-bridge inverter in state-variable form. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. 4/5 (94) 2018. P. 14-21. doi: 10.15587/1729-4061.2018.139853.

## ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ АНАЛІЗАТОР ФЕРОМАГНІТНИХ ДОМІШОК

**Гаращенко В.І.**, к.т.н., доцент, Національний університет водного господарства та природокористування, [v.i.harashchenko@nuwm.edu.ua](mailto:v.i.harashchenko@nuwm.edu.ua)

**Гаращенко О.В.**, к.т.н., доцент Національний університет водного господарства та природокористування, [o.v.harashchenko@nuwm.edu.ua](mailto:o.v.harashchenko@nuwm.edu.ua)

**Соляк Л.В.**, ст.викл., Національний університет водного господарства та природокористування, [l.v.soliak@nuwm.edu.ua](mailto:l.v.soliak@nuwm.edu.ua)

Технологічні води теплової і атомної енергетики, як відомо, забруднені домішками, концентрація яких перевищує норму в декілька разів. Основні по складу домішки це магнетит  $Fe_3O_4$ , гематит  $Fe_2O_3$ , вюстит  $FeO$ , та інші. Той факт, що залізовмісні домішки в значній мірі володіють магнітними властивостями, визначає можливість використання магнітної технології для очищення технологічних вод від таких домішок.

Ефективність роботи магнітних фільтрів буде визначатись в першу чергу тим, яка частка феромагнітної фракції домішок буде міститись в загальній масі домішок. Використання спектроскопу Мессбауера та таких методів як визначення валентності заліза та інших є трудомісткими і тривалими в часі.

Тому, запропоновано визначення частки феромагнітної фракції домішок здійснювати за допомогою електромагнітного аналізатора.

Електромагнітний аналізатор для визначення феромагнітної фракції у рідких середовищах, що зображений на рис.1 складається з намагнічуючої системи 1, корпусу фільтра 2, тонкошарових вимірювальних електричних котушок 3,4, феромагнітної загрузки 5, камери флокуляції домішок 6, поршня 7, магнітної системи у вигляді електричної котушки (соленоїда) 8, перепускного клапана 9, ємності 10, перепускного клапана 11 та пробовідбірника 12.

На рис.2 зображена схема електричного містка, який складається з вимірювального приладу ВП для визначення відносної зміни індуктивностей  $L_0$  і  $L$ , вимірювальних котушок 3,4; активного постійного і змінного опорів  $R_1$ ,  $R_2$ , генератора змінної напруги живлення містка  $\Gamma$ . Тонкошарові вимірювальні електричні котушки 3 і 4 підключається контактами  $a$ ,  $b$  і  $c$ ,  $d$  до приладу ВП, який вимірює відносну зміну індуктивності  $L_0$  і  $L$  котушок 3,4. До початку процесу очищення рідини, електричними опорами  $R_1$  і  $R_2$ , місток врівноважується приладом ВП.

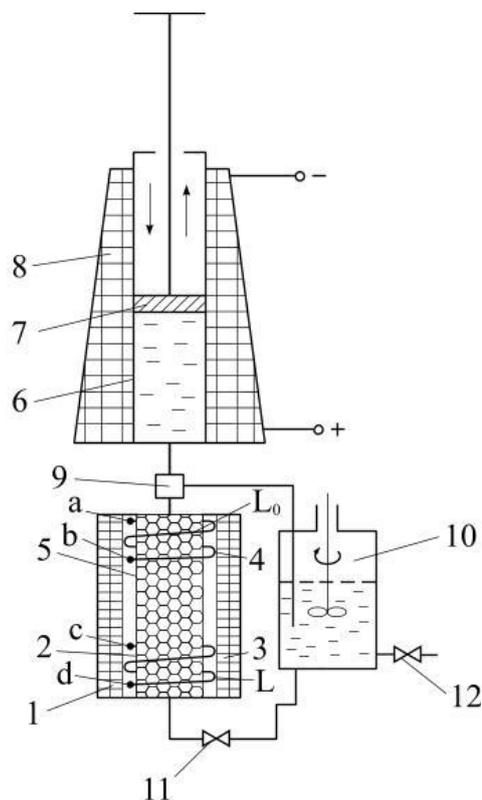


Рис.1. Електромагнітний аналізатор для визначення феромагнітної фракції домішок

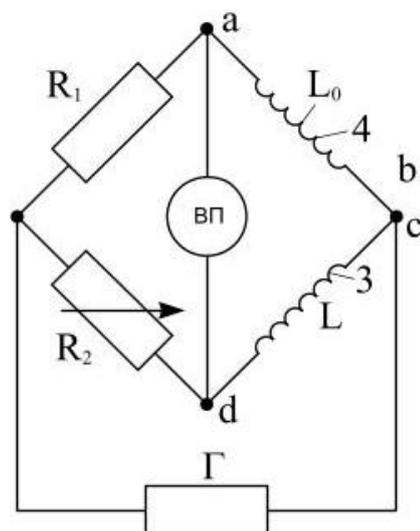


Рис. 2. Схема електричного містка

Електричні тонкошарові котушки підключаються до приладу ВП, який вимірює відносну різницю їх індуктивностей. В процесі визначення феромагнітної фракції різниця індуктивностей котушок буде спочатку збільшуватись, а через невеликий проміжок часу різниця індуктивностей котушок буде зменшуватись по мірі насичення домішками всього об'єму загрузки до мінімуму і наближатись до мінімального значення. Цей момент часу засвідчує, що з даної проби рідкого середовища, що аналізується вилучена максимально можлива частка феромагнітної фракції. Порівнюючи різницю

індуктивностей вимірювальних котушок  $\Delta L_1 = L_0 - L$  на початку процесу осадження домішок в намагніченій загрузці і в кінці процесу аналізу домішок після певної кількості циклів  $\Delta L_2 = L_0 - L$ , визначають частку феромагнітної фракції домішок. Для контролю додатково відбирають проби після завершення процесу фільтрування рідкого середовища і визначають вміст заліза хімічним методом.

Працює електромагнітний аналізатор наступним чином. Рідину певного об'єму, що аналізується, наприклад, турбінний конденсат теплової станції, наливають в ємність 10. Переміщуючи поршень 7 вгору, заповнюють досліджуваною речовиною камеру флокуляції 6, при цьому включаючи магнітну систему (соленоїд) 8 і намагнічуючу систему 1. Вимірювальні котушки 3,4 контактами а, b і с, d підключені в схему електричного містка. Змінним опором  $R_2$  зрівноважують електричний місток з котушками 3,4, при цьому прилад ВП показує нуль. Повільно переміщуючи поршень 7 вниз, досліджувана рідина через перепускний клапан 9 потрапляє у фільтр 2, де в намагніченій фільтруючій загрузці 5 відбувається осадження феромагнітних часток забруднюючих домішок. Через перепускний клапан 11 рідина потрапляє в ємність 10. Через пробовідбірники 12 беруть контрольну пробу рідини для аналізу на вміст феромагнітної фракції. Аналогічно попередньому циклу, переміщуючи поршень 7 вгору, знову заповнюють камеру флокуляції 6 досліджуваною рідиною і цикл повторюється. При кожному циклі приладом ВП електричного містка вимірюється різниця індуктивностей котушок 3,4 -  $\Delta L_1, \Delta L_2, \Delta L_3 \dots$ , при цьому проміжні проби рідини не беруть. Вимірювання величин  $\Delta L_1, \Delta L_2, \Delta L_3$  відбувається за короткий час, впродовж декількох хвилин.

Величина феромагнітної фракції визначається за співвідношенням  $\lambda = \frac{L - L_0}{L}$ , де  $L_0$  – індуктивність «чистої» вимірювальної котушки до початку процесу визначення величини феромагнітної фракції,  $L$  – індуктивність вимірювальної котушки при тому циклі фільтрування, коли величина  $L$  не змінюється. В момент часу, коли  $L$  вже не змінюється, визначають для контролю також величину  $\lambda$  хімічним методом  $\lambda = \frac{C_0 - C}{C_0}$ , де  $C_0$  – концентрація домішок до початку процесу визначення величини феромагнітної фракції,  $C$  – концентрація домішок, що відповідає останньому циклу фільтрування, при якому величина індуктивності  $L$  не змінюється. Величини  $\lambda$  і  $\lambda_1$  повинні корелювати між собою.

Використання електромагнітного аналізатора феромагнітних домішок дозволить зменшити трудомісткість і тривалість визначення феромагнітної фракції домішок у рідких середовищах, а також створити умови при яких можна в динаміці контролювати процес насичення феромагнітної загрузки домішками.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНИХ СИСТЕМ ЗІ ЗБУДЖЕННЯМ ВІД ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ

Гудь В.М., к.ф.-м.н., доцент

Сімухов В.Д., студент

Лазутчик А.С., студент

Національний університет водного господарства та природокористування,  
V.M.Hud@nuwm.edu.ua

Постійні магніти широко використовуються для збудження магнітних полів електрогенераторів, магнітних сепараторів, медичних апаратів та вимірювальних приладів [1]. При цьому, постійно постає питання ефективності використання їхньої енергії в тій чи іншій конструкції магнітної системи [2]. Особливої актуальності набуває дана проблема у зв'язку з обмеженням величини питомої енергії сучасних магнітотведих матеріалів, що, відповідно, вимагає більш ефективного її використання.

Метою роботи є дослідження ефективності використання енергії в багатополюсних циліндричних магнітних системах зі збудженням від постійних магнітів.

Магнітне поле описували системою диференціальних рівнянь Максвелла для стаціонарного магнітного поля вигляду [3]:

$$\nabla \times H = 0, \quad (1)$$

$$\nabla \cdot B = 0, \quad (2)$$

де  $H$  - вектор напруженості магнітного поля;  $B$  - вектор магнітної індукції.

Рівняння стану для постійних магнітів представляли:

$$B = \mu_0 \mu_r H + B_r \quad (3)$$

де  $\mu_r$ ,  $B_r$  - відносне значення магнітної проникності та залишкової індукції ПМ, відповідно;  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м - магнітна постійна.

Рівняння стану для феромагнітних елементів та навколишнього середовища (повітря) представляли як:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \quad (4)$$

де  $\mu_r$  - відносне значення магнітної проникності для феромагнітної матеріалу та повітря ( $\mu_r = 1$ ), відповідно.

Приймали, що постійні магніти намагнічені діаметрально. Вектор залишкової індукції для  $k$ -го полюсу приймали:

$$\vec{B}_k = (-1)^k B_r \cdot \vec{e}_r \quad (5)$$

Ефективність використання енергії постійних магнітів оцінювали за відношенням загальної енергії магнітного поля системи в номінальному режимі  $W_{ном}$  до максимальної енергії постійних магнітів  $W_{макс}$ .

$$\eta = \frac{W_{ном}}{W_{макс}} \quad (6)$$

Величину енергії постійних магнітів визначали як:

$$W = w_{\text{макс}} \cdot V \quad (7)$$

де  $w_{\text{макс}}$  - максимальна густина енергії постійного магніту;

$V$  - об'єм постійних магнітів.

Енергію магнітного поля магнітної системи в номінальному режимі, визначали як:

$$W_{\text{ном.}} = \int_V w_{\text{ном.}} dv \quad (8)$$

Дослідження магнітних систем здійснювали методом математичного моделювання. Досліджували багатополюсні суцільні циліндричні магнітні системи основи магнітів Nd-Fe-B енергетичним добутком 485 кДж/м<sup>3</sup> діаметром 0,1 м. Кількість пар полюсів змінювали в межах від 1 до 6.

Залежність питомої енергії досліджуваних магнітних систем показав, що зі збільшенням кількості полюсів відбувається зменшення сумарної енергії, яка генерується магнітною системою.

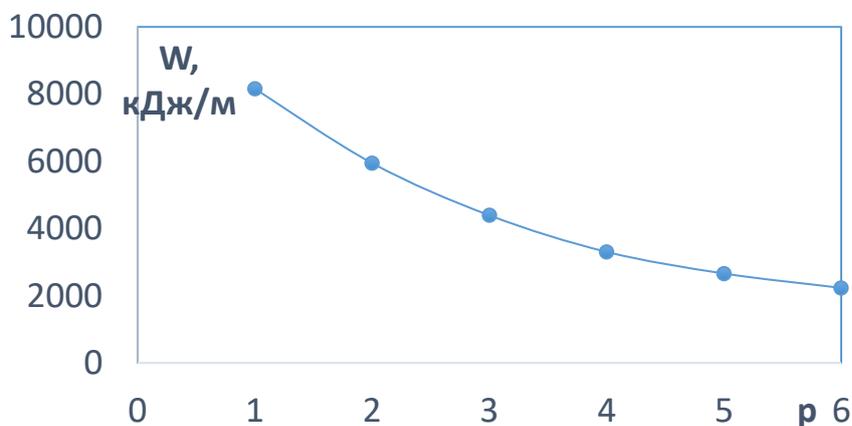


Рис.1 Залежність питомої енергії магнітного поля циліндричної магнітної системи від кількості пар полюсів

В результаті проведених досліджень показано, що величина енергії магнітного поля яке збуджується постійними магнітами залежить від конструкції магнітної системи. Встановлено, що для циліндричних систем збільшення кількості пар полюсів у магнітній системі від 1 до 6 енергія призводить до зменшення енергії магнітного поля більш ніж у 3 рази. Доведено, що енергоефективність магнітних систем зі збудженням від постійних магнітів може керуватися шляхом зміни конфігурації магнітної системи.

### Література

1. Постоянные магниты: Справочник / Под ред. Ю. М. Пятина – М.: «Энергия». 1980. – 488 с.
2. Гудь В.М. Методи та прилади контролю якості постійних магнітів // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2015. - №5(94). С.32-37.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 263 с.: ил.

**МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКІВ ЗІТКНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО СУДНА З  
ГЛІСАДНИМИ ВОГНЯМИ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ**Дев'яткіна С.С., к.т.н., доцент, НАУ, [svitlana.deviatkina@npp.nau.edu.ua](mailto:svitlana.deviatkina@npp.nau.edu.ua)

Основним фактором гарантії забезпечення прийняттого рівня безпеки польотів на аеродромі цивільної авіації є виконання всіх вимог Стандартів та Рекомендованої практики ІКАО. Якщо існують об'єктивні причини, через які Стандарти ІКАО не забезпечуються, тобто існують явні небезпечні фактори, які тимчасово неможливо усунути, необхідно провести визначення і оцінку ризику, що виникає через можливу реалізацію небезпечного фактору. По результатам оцінки існуючого ризику слід зробити висновки щодо прийнятності ризику та терміновості і обсягу заходів для зменшення ймовірності (частоти) та/або важкості наслідків від реалізації небезпечного фактору. Таким чином буде реалізований цикл керування ризиком і впевненість у тому, що вказаний небезпечний фактор є контрольованим.

Існуючий небезпечний фактор, що підлягає аналізу – перевищення вогнями візуальної індикації глісади (схема RAPI) мінімальної встановленої вимогами стандартів ІКАО висоти [1]. Обмеження щодо висоти об'єктів, розташованих на льотному полі аеродрому обґрунтовується виходячи з двох основних міркувань: об'єкти не повинні створювати перешкоди для роботи радіонавігаційного обладнання і об'єкти повинні завдавати мінімальної шкоди у випадку зіткнення з ними повітряного судна або його окремих частин.

Таким чином, перевищення вогнями візуальної індикації глісади (схема RAPI) встановленої висоти можна охарактеризувати, як небезпечний фактор, що потенційно може створювати ризик, як мінімум, аварії, при викочування ПС за бічні межі злітно-посадкової смуги (ЗПС). Тобто, ПС, викотившись при посадці або зльоті за бічні межі ЗПС, може зіткнутися з вогнями візуальної індикації глісади і отримати пошкодження (крила, двигунів тощо), чого можна було б уникнути, якщо б висота глісадних вогнів перебувала б у встановлених межах. Такий небезпечний фактор може існувати на аеродромах цивільної авіації, адже часто глісадні вогні встановлюють якнайвище, щоб уникнути їх замітання снігом або заростання рослинністю.

Фактором захисту від вказаної ситуації є приведення висоти глісадних вогнів у встановлені нормативними документами межі. Однак дана процедура є досить трудомісткою, адже, враховуючи специфіку роботи казаної підсистеми вогнів, потребує не тільки простого зменшення висоти вогнів, а проведення теоретичних підрахунків нового місця розташування, демонтаж та встановлення вогнів на нове місце. Все вищезначене потребує часових, грошових (матеріальних) та людських ресурсів, тобто швидке (термінове) усунення вказаного небезпечного фактору не можливе. Тимчасовим вирішенням цієї проблеми є визначення ризику зіткнення ПС з підсистемою глісадних вогнів ЗПС та його оцінка, за результатами якої можна зробити висновки про терміновість та обсяг усунення вказаного небезпечного фактору.

Відповідно до вимог Стандартів ІСАО [1] підсистема вогнів візуальної індикації глісади типу РАРІ, складається з чотирьох одиночних вогнів, що для кожного напрямку посадки розташовуються з лівого боку ЗПС з нормованими відстанями. Відстань до порогу  $D_1$  на аеродромі «Бориспіль» становить 300 м. Вогні представляють собою одиночні світлові пристрої, що встановлюються на ламких муфтах для запобігання пошкодження ПС у випадку зіткнення з ним. Максимальна ширина підсистеми глісадних вогнів становить близько 31 м (з урахуванням ширини одиночного вогню, яка складає близько 0,5 м).

Розглянемо сценарій створення ризику зіткнення ПС з хоча б одним з вогнем підсистеми візуальної індикації глісади. Такий сценарій можливий при реалізації кількох сумісних випадкових подій:

1. ПС, що здійснює посадку на ЗПС після заходу на посадку або зліт, через якісь причини викотилось за бічні межі ЗПС.
2. Викочування за бічні межі ЗПС відбулося праворуч.
3. Викочування відбулося саме в межах, так званої, «небезпечної зони», в якій розташовані глісадні вогні, межі якої слід розрахувати.

Саме одночасна реалізація трьох вищевказаних сумісних подій призведе до можливого зіткнення ПС (або його частини) з вогнями системи РАРІ. Математична модель ризику в цьому випадку буде виглядати наступним чином (коефіцієнт «0,5» враховує викочування тільки праворуч від вісі ЗПС):

$$R_{\text{зіткн}} = 0,5 \cdot F_{\text{викоч}} \cdot P_{\text{нз}},$$

де  $F_{\text{викоч}}$  – частота викочування ПС за бічні межі ЗПС;

$P_{\text{нз}}$  – ймовірність попадання ПС до «небезпечної зони», в якій існує небезпека зіткнення з глісадними вогнями.

Відповідно до статистики авіаційних подій та інцидентів, що ведеться на аеродромі «Бориспіль» за останні 16 років, у них відбулося 7 викочувань ПС за бічні межі ЗПС при посадці. В середньому на аеродромі в день здійснюється 250 операцій, при цьому, приблизно однакова кількість зльотів і посадок. За наведеними даними визначимо частоту викочувань ПС за бічні межі ЗПС на аеродромі «Бориспіль» при посадці:

$$F_{\text{викоч}} = \frac{7}{125 \cdot 365 \cdot 16} = 9,59 \cdot 10^{-6} \text{ 1/посадку.}$$

Ймовірність попадання ПС у «небезпечну зону» розрахуємо, як відношення площі цієї зони  $S_{\text{нз}}$  до площі поверхні, де потенційно може перебувати ПС при викочуванні.

Вважатимемо, що «небезпечна зона», це зона, перебуваючи в межах якої ПС потенційно може доторкнутися будь-якою своєю частиною до будь-якої частини одиночного глісадного вогню. В цьому випадку, через перебільшення допустимої висоти одиночним глісадним вогнем, може відбутися небажане зіткнення з ним, що може привести до пошкодження або навіть руйнування окремих частин ПС. Будемо, також, вважати, що ПС попадає до «небезпечної зони» у випадку, якщо до цієї зони попадає умовна точка, яка знаходиться у середині відрізка, який сполучає дві протилежні найвіддаленіші точки крила літака – «центр крила літака».

Габаритні розміри «небезпечної зони» залежать від ширини одиночного глісадного вогню, довжини підсистеми глісадних вогнів та довжини крила літака. Відповідно до вимог Стандартів ІСАО максимальна довжина підсистеми глісадних вогнів становить 31 м, а ширина одиночного вогню, в середньому, становить 1 м. Максимальна довжина крила ПС типу «Boeing/Airbus», що здійснює операції на аеродромі «Бориспіль» становить 40 м.

Таким чином «небезпечна зона» – це прямокутник з габаритними розмірами  $A = 71$  м,  $B = 41$  м. Строго кажучи, це має бути овал, але його обрахунок більш складний, тому приймемо більш «жорсткі» умови для розмірів «небезпечної зони». Таке спрощення суттєво не вплине на точність подальших розрахунків. Площа «небезпечної зони» становить  $2911 \text{ м}^2$ .

Площа зони, до якої потенційно може потрапити ПС при викочуванні визначається за наступною формулою

$$S = (L_{ЗПС} - D_1 + 0,5 \cdot B - L_{mn}) \times (A - b + 0,5 \cdot W_{ЗПС}),$$

де  $L_{ЗПС}$ ,  $W_{ЗПС}$  – довжина та ширина ЗПС відповідно – 4000 м на 60 м для ЗПС аеродрому «Бориспіль»;  $D_1$  – відстань від порогу ЗПС, на якій розташовуються глісадні вогні;  $B$  – довжина «небезпечної зони»;  $A$  – ширина небезпечної зони;  $L_{mn}$  – відстань від порогу ЗПС до точки прицілювання (300 м).

При довжині ЗПС 4000 м значення площі, де потенційно може перебувати ПС після приземлення –  $S$  дорівнюватиме  $324900 \text{ м}^2$

$$P_{нз} = \frac{2911}{324900} = 0,00895.$$

Таким чином, значення ризику зіткнення ПС з підсистемою глісадних вогнів при посадці на ЗПС аеродрому «Бориспіль» буде дорівнювати

$$R = 0,5 \cdot 9,59 \cdot 10^{-6} \cdot 0,00895 = 4,29 \cdot 10^{-8} \text{ 1/посадку}$$

**Висновок.** Наведений алгоритм моделювання ризику може використовуватися при необхідності визначення ризику зіткнення ПС з підсистемою глісадних вогнів на аеродромах, де існує такий фактор безпеки, як перевищення мінімальної встановленої висоти підсистемою глісадних вогнів. Це, у свою чергу, дозволить розробити оптимальну за критерієм «ціна-якість» стратегію керування ризиком.

## Література

1. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации. Аэродромы: [в 2т.]: Том I. Проектирование и эксплуатация аэродромов. – Монреаль, издание 8, июль, 2018. – 384 с. – (ІСАО. Международные Стандарты и Рекомендуемая практика)

**СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВІЗУАЛЬНИХ ЗАСОБІВ  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ НА АЕРОДРОМАХ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ**

Дев'яткіна С.С., к.т.н., доцент, НАУ, [svitlana.deviatkina@npp.nau.edu.ua](mailto:svitlana.deviatkina@npp.nau.edu.ua)  
Ванецян С.Г., к.т.н., доцент, НАУ, [serhii.vanetsian@npp.nau.edu.ua](mailto:serhii.vanetsian@npp.nau.edu.ua)

Рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування однозначно визначається правильним функціонуванням світлосигнальної системи аеродрому (ССА), яка є споживачем електричної енергії першої категорії особливої групи. Відповідно до вимог національного документа [1] електропостачання ССА I, II, III категорій має здійснюватися від трьох джерел електричної енергії - двох незалежних і одного автономного джерела або їх різних комбінацій. В цьому ж документі нормувався припустимий час перерви в електропостачанні ССА при відмові одного з джерел електричної енергії. Для ССА I, II, III категорій цей час становив 1,0 с, а для злітно-посадкових смуг (ЗПС), обладнаних для неточного заходу на посадку та необладнаних ЗПС – 60,0 с.

З 01 квітня 2020 року, відповідно до наказу Державіаслужби №332, [2] всі сертифікаційні вимоги до візуальних засобів аеродрому і систем їх електропостачання регламентуються Стандартами та Рекомендованою практикою ІКАО, [3]. Згідно з вимогами документа [3] кількість джерел електропостачання ССА не нормується, їх має бути, принаймні, два – основний та резервний. Замість припустимого часу перерви в електропостачанні ССА нормується час перемикавання вогню – процедура, що докладно визначена у документах ІКАО [3].

Відповідно до вимог таблиці 8.1, ІКАО, [3] нормований час перемикавання вогню для ССА встановлених на необладнаній ЗПС, ЗПС неточного заходу на посадку та ЗПС для точного заходу на посадку за I категорією становить 15 с. Для окремих підсистем є виключення, що регламентують час перемикавання вогню на рівні 1,0 с за умови якщо ЗПС використовується для зльоту ПС, підсистема необхідна для забезпечення безпеки польотів або захід на посадку здійснюється над небезпечною або стрімчастою місцевістю. Правильність вимог таблиці 8.1, ІКАО, [3] викликає деякі сумніви для підтвердження яких розглянемо два потенційних сценарію, що можуть виникнути під час заходу ПС на посадку та скористуємось рис. 1.

Візуальний контакт з наземними орієнтирами починається у точці А на висоті початку візуальної оцінки,  $H_{ВПВО}$ , яка на 8-10 м перевищує висоту прийняття рішення –  $H_{ВПР}$ , наприклад 70 м, якщо  $H_{ВПР} = 60$  м, тобто відповідає мінімальному значенню для I категорії. Відомо, що для встановлення і підтримування необхідного візуального контакту пілот ПС має спостерігати ділянку земної поверхні  $L_{ВК}$ , принаймні, довжиною 150 м, рис. 1.

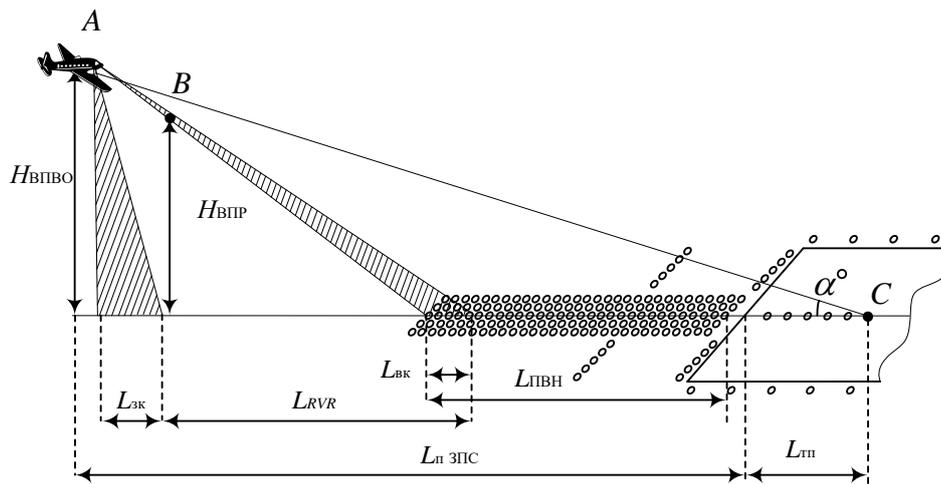


Рис. 1. Схема точного заходу на посадку ПС у складних метеорологічних умовах

Частина ділянки земної поверхні  $L_{зк}$  закрита для пілота конструкцією ПС. Видима ділянка  $L_{RVR}$  визначається погодними умовами та силою світла аеродромних вогнів. Довжина вогнів наближення становить 900 м від початку ЗПС, кут нахилу глісади –  $\theta - 3,0^\circ$ .

У точці А, перебуваючи пілот на висоті  $H_{ВПВО}$  де, при певному значенні дальності видимості на ЗПС (RVR) –  $L_{RVR}$  – він буде спостерігати ділянку підсистеми вогнів наближення довжиною 250 – 300 м за умови  $RVR = 550$  м. або більше. На проміжку часу, поки ПС знижується по глісаді від точки А до точки В пілот оброблює отриману візуальну інформацію – розпізнає вогні, що побачив, і оцінює місцезположення ПС у просторі відносно ЗПС. При досягненні точки В, рішення про можливість посадки у пілота ПС вже має бути сформоване. В разі прийняття рішення про продовження посадки, при подальшому зниженні по глісаді, пілот здійснює приземлення у зоні оптимального торкання (точка С). В обох сценаріях розглядається випадок, коли відмова системи електропостачання ССА виникає на ділянці 1100 – 400 м від торця ЗПС, тобто від висоти початку візуальної оцінки до висоти 20 м, з якої пілот ПС може встановити необхідний візуальний контакт з вогнями ЗПС. Для першого, найбільш ймовірного сценарію, пілот може піти на друге коло. Відмова системи електропостачання ССА відбувається в будь-який момент при знаходженні ПС над ділянкою 1100 – 400 м від торця ЗПС, тобто в межах семісотметрової ділянки етапу візуального пілотування, яку ПС минає протягом 8 – 10 секунд. Після відмови системи електропостачання ССА гаснуть усі вогні підсистеми вогнів наближення на 15,0 с, що відповідає часу перемикавання вогню, таблиця 8.1. ІСАО, [3] і пілот втрачає необхідний візуальний контакт на 15,0 с. В кращому випадку, відповідно до інструкції, він виконає маневр відходу на друге коло, а, в найгіршому випадку, продовжить захід на посадку, що може закінчитися авіаційною подією.

Другій сценарій передбачає захід на посадку критичного повітряного судна, яке не має можливості відходу на друге коло з причин відмови двигуна, системи керування, браку палива тощо. В цьому випадку ймовірність успішного

завершення посадки прагне до нуля. Зрозуміло, що ймовірність заходу на посадку критичного повітряного судна достатньо мала та становить  $10^{-4} - 10^{-5}$ , тим не менш нехтувати нею неможна.

Розглянуті сценарії застосовані не тільки для точного заходу на посадку за першою категорією, але і для неточного заходу в рівній мірі.

Практично, всі аеродроми України мають системи електропостачання ССА до складу яких входять три джерела електропостачання – два зовнішніх незалежних та один автономний, як правило, дизель-генераторний агрегат. Прилад автоматичного вводу резервного джерела електропостачання забезпечує час перемикання вогню на рівні 1,0 с. Введення нових норм може призвести до того, що аеродроми із ЗПС, обладнаними для неточного заходу на посадку та посадку за I категорією будуть відмовлятися від другого зовнішнього, незалежного джерела електропостачання, що, в свою чергу, буде зберігати небезпечний фактор, пов'язаний з відмовою системи електропостачання ССА. Для чисельної оцінки ризиків щодо безпеки польотів, пов'язаних з відмовою системи електропостачання ССА можна використати наступну ймовірнісну модель

$$R_{зп} = P_{ПСнекр} \cdot K_{ССА} \cdot Q_{ССА}(t_{вк}) + P_{ПСкр} \cdot K_{ССА} \cdot K_{нг}(t),$$

де  $R_{зп}$  – ризик при заході на посадку ПС;  $P_{пс некр}$  та  $P_{пс кр}$  – ймовірність заходу на посадку відповідно «некритичного» і «критичного» ПС;  $K_{ССА}$  – коефіцієнт використання ССА;  $Q_{ССА}(t_{вк})$  - ймовірність відмови ССА через відмову підсистеми її електропостачання за час візуального контакту;  $K_{нг}(t)$  – коефіцієнт неготовності ССА через відмову її підсистеми електропостачання.

**Висновки.** Якщо аеродроми впроваджують вимоги ІСАО, то на нормативному рівні закладається небезпечний фактор для екіпажів ПС, які виконують заходи на посадку в складних метеорологічних умовах вдень і вночі. Ймовірність реалізації небезпечного фактору залежить від показників надійності зовнішнього джерела електропостачання ССА та розподільчої електричної мережі аеродрому, і в різних аеродромах вони можуть бути різними. За умови не високих показників надійності, ризики для ПС можуть досягати значних рівнів та перевищувати прийнятні значення.

### Література

1. Сертифікаційні вимоги до цивільних аеродромів України. Наказ Державної служби України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації від 17.03.2006, № 201.
2. Про встановлення сертифікаційних вимог до цивільних аеродромів України. Наказ Державної служби України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації № 332.
3. Аэродромы. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации, в 2 т. / изд. 8-е, июль 2018 - Том 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов.

**ІННОВАЦІЙНИЙ СИНТЕЗ МОДУЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ  
СИСТЕМИ ДЛЯ РОБОТИЗОВАНОГО МАНІПУЛЯТОРА  
СТАЛЕВИХ ТРУБ**

**Красовський П.О.**, магістр

**Місан Н.А.**, студент

НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», [ntuukafem@ukr.net](mailto:ntuukafem@ukr.net)

Сталеві труби великого діаметра широко використовуються в будівництві і модернізації крупних промислових об'єктів енергетичного і стратегічного призначення. В першу чергу це стосується магістральних трубопроводів, підприємств енергетичного машинобудування, хімічної промисловості, нафтогазової галузі і атомної енергетики [1,2]. Для будівництва, модернізації і експлуатації магістральних трубопроводів, АЕС і потужних теплових електростанцій (ТЕС) використовуються широкий сортамент як сталевих, так і біметалевих труб діаметром від 600 до 1400 мм. На лініях технологічної підготовки та обробки сталевих труб виконуються великі обсяги трудомістких технологічних операцій таких як: зварювання з нанесенням внутрішніх і зовнішніх швів, різка на фрагменти, нанесення захисного покриття, навивання ізоляційних та захисних синтетичних стрічок, нанесення міток, свердління отворів, фарбування, вирізання вікон і люків та ін. Значні обсяги робіт виконуються з переробки сталевих труб, які вже вилучені з експлуатації.

За прогнозами експертів потреби енергетичної галузі в сталевих трубах і сталевому прокаті будуть зростати і надалі. Тому створення енергоефективного роботизованого обладнання, для автоматизації трудомістких процесів технологічної підготовки і обробки сталевих труб і сталевого покату є затребуваною і актуальною задачею.

Метою роботи є синтез структури конкурентоспроможного варіанта багатофункціональної електромеханічної системи (ЕМ-системи) модульного виконання, призначеної для роботизованого маніпулятора сталевих труб великого діаметра, з використанням методології генетичного синтезу і аналізу.

Об'єктом дослідження є клас просторово розподілених модульних електромеханічних структур (ЕМ-структур), функціонування яких безпосередньо пов'язане з використанням сталевих труб, або прокату у якості вторинної частини.

Методологія досліджень в даній роботі ґрунтується на використанні положень генетичної теорії структуроутворення електромеханічних систем, методології розшифрування і аналізу генетичних програм і технології структурного передбачення та інноваційного синтезу ЕМ-структур, розроблених на кафедрі електромеханіки «КПІ ім. Ігоря Сікорського» [3-6]. Одним з перспективних напрямів автоматизації трудомістких виробничих процесів зі сталевими трубами і прокатом є використання лінійних асинхронних двигунів (ЛАД).

Аналіз відомих ЕМ-систем, що використовується в безпосередньому приводі маніпуляторів сталевими трубами великого діаметру свідчить, що в більшості випадків вони забезпечують виконання лише окремих функцій і не задовольняють сучасним вимогам з автоматизації технологічних процесів на основі сучасної цифрової техніки. Тому виникає нагальна потреба у здійсненні пошуку та розробки нових варіантів ЕМ-систем з розширеними функціями і можливістю реалізації сучасних комп'ютеризованих систем керування технологічним процесом.

Результатами попередніх досліджень встановлено, що принципи структуроутворення і межі структурної різноманітності довільних функціональних класів ЕМПЕ визначаються їх макрогенетичними програмами [7]. Задачу синтезу просторово адаптивної ЕМ-структури розглянемо на прикладі створення тягової ЕМ-системи роботизованого технологічного комплексу для обробки сталевих труб великого діаметра. Вихідною інформацією для синтезу генетичної моделі є сукупність вимог до шуканої структури ЕМ-системи і результати аналізу її макрогенетичної програми. Інтегральна функція синтезу  $F_S$  має враховувати наступну сукупність часткових вимог:

- 1) Можливість функціонування приводної ЕМ-системи зі сталевими виробами як циліндричної, так і плоскої просторової форми ( $G_{2CL}$ ,  $G_{2PL}$ ), які виконують функцію вторинної частини ЕМ-системи;
- 2) Реалізація поступального, обертального і складного просторового руху технологічного об'єкта ( $\omega, V$ );
- 3) Модульне виконання індукторів з мінімізацією їх типів ( $N_M \rightarrow \min$ );
- 4) Можливість зміни просторової орієнтації елементарного індукторного модуля відносно поверхні технологічного об'єкта ( $\beta_{OZ} \rightarrow \text{var}$ );
- 5) Можливість зміни просторової геометрії активної поверхні індукторного модуля під дією сил магнітного тяжіння ( $G_A \rightarrow \text{var}$ );
- 6) Мінімізація повітряного зазору ( $\delta_{OZ} \rightarrow \min$ );
- 7) Можливість оперативної зміни просторової схеми розміщення і кількості активних індукторних модулів в структурі технологічного маніпулятора ( $N_I \rightarrow \text{var}$ ).

З врахуванням зазначених часткових вимог, вектор інтегральної функції синтезу в пошуковому просторі  $R^n$  набуває вигляду:

$$F_S = [(G_{2CL}, G_{2PL}); (\omega, V); (N_M \rightarrow \min); (\beta_{OZ} \rightarrow \text{var}); (G_A \rightarrow \text{var}); (\delta_{OZ} \rightarrow \min); (N_I \rightarrow \text{var})] \subset R^n \quad (1)$$

За результатами розшифрування і аналізу макрогенетичної програми [7], даній функції синтезу задовольняють структурні представники Виду плоских асинхронних двигунів Виду PL 2.2x,y, який для заданої сукупності вимог, набуває статусу домінуючого. Заданій функції пошуку (1), ставиться у відповідність багаторівнева генетична модель дивергентного типу (рис. 1).

Структура моделі містить п'ять рівнів генетичної складності, які представлено: батьківською електромагнітною хромосомою PL 2.2y домінуючого Виду ЕМ-структур (нульовий рівень); паралельними послідовностями генетично модифікованих електромагнітних хромосом

інформаційного типу ( $S_{11} - S_{32}$ ), які моделюють процес ускладнення шуканої ЕМ-структури (рівні 2-4), і ізомерними просторовими композиціями породжувальних електромагнітних хромосом ( $S_{411} - S_{414}$ ;  $S_{421} - S_{423}$ ), які задовольняють заданій функції синтезу і визначають просторово розподілену структуру модульної ЕМ-системи (рівень 5).

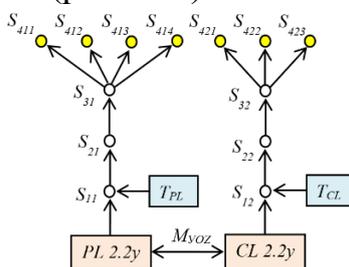


Рис. 1. Генетична модель просторово розподіленої модульної ЕМ-структури зі змінною геометрією активної зони

Таблиця 1. Результати розшифрування мікрогенетичної програми структуроутворення модульної структури ЕМ-системи зі змінною просторовою геометрією активної зони

Номер хромо соми	Структурна формула синтезованої хромосоми	Статус хромосоми
$PL2.2y$	$PL 2.2y$	Батьківська
	$[(PL 2.2y):M_{Zoy}]_1 \rightarrow (CL 2.2y)_1$	Батьківська, міжродовий мутант
$S_{11}$	$(PL2.2y)_1 \times (T_{PL})_2$	Електромагнітна парна, інформаційна
$S_{21}$	$[(PL2.2y):M]_1 \times (T_{PL})_2$	Мутована, інформаційна
$S_{31}$	$[(PL2.2y):M:R]_1 \times (T_{PL})_2$	Реплікована, інформаційна
$S_{411}$	$[(PL2.2y):M:R_{Xoy}:V_{Ox}]_1 \times (T_{PL})_2$	Ізомер ( $OX$ – орієнтована), породжувальна
$S_{412}$	$[(PL2.2y):M:R_{Xoy}:V_{Oy}]_1 \times (T_{PL})_2$	Ізомер ( $OY$ – орієнтована), породжувальна
$S_{412}$	$[(PL2.2y):M:R_{Xoy}:\omega_{Oz}]_1 \times (T_{PL})_2$	Ізомер ( $OZ$ – поворотна), породжувальна
$S_{413}$	$[(PL2.2y):M:R_{Xoy}:V_{Ox}:V_{Oy}:\omega_{Oz}]_1 \times (T_{PL})_2$	Ізомер ( $V, \omega$ ) $_{Xoy}$ , породжувальна
$S_{12}$	$(CL2.2y)_1 \times (T_{CL})_2$	Електромагнітна парна, інформаційна
$S_{22}$	$[(CL2.2y):M]_1 \times (T_{CL})_2$	Мутована, інформаційна
$S_{32}$	$[(CL2.2y):M:R]_1 \times (T_{CL})_2$	Реплікована, інформаційна
$S_{421}$	$[(PL2.2y):M:R_{Zoy}:V_{Ox}]_1 \times (T_{CL})_2$	Ізомер ( $OX$ – орієнтована), породжувальна
$S_{422}$	$[(CL2.2y):M:R_{Zoy}:\omega_{Ox}]_1 \times (T_{CL})_2$	Ізомер ( $OX$ – поворотна), породжувальна
$S_{423}$	$[(PL2.2y):M:R_{Zoy}:V_{Ox}] \leftrightarrow (CL2.2y):M:R_{Zoy}:\omega_{Ox}]_1 \times (T_{CL})_2$	Ізомер ( $V, \omega$ ) $_{Ox}$ , породжувальна

Принципова відмінність генетичної моделі (рис. 1) визначається гомеоморфізмом батьківської хромосоми  $PL\ 2.2y$ , яка з використанням оператора міжродової мутації ( $M_{voz}$ ) може змінювати просторову геометрію активної поверхні і трансформуватися в топологічно еквівалентну хромосому  $CL\ 2.2y$ . Просторова трансформація такого типу генетично допустима лише для гомологічних електромагнітних хромосом в межах локального топологічного простору підгрупи  $2.2y$ . Зазначена хромосомна мутація дозволяє синтезувати ЕМ-структуру, яка здатна реалізувати функції плоского індуктора поступального руху і дугового циліндричного індуктора з функцією обертального руху (вимога 2).

Варіанти просторової геометрії активної поверхні технологічного об'єкта (вимога 1) представлено вторинними хромосомами  $T_{пл2}$  і  $T_{цл2}$ . Результати розшифрування і аналізу мікрогенетичної програми наведено в табл. 1.

Результати аналізу мікрогенетичної програми (табл. 1) вказують на домінуючу роль операторів мутації ( $M_i$ ) і реплікації ( $R_i$ ) в процедурах формоутворення ізомерних композицій, які визначають принципи структурної організації модульних ЕМ-об'єктів зі змінною геометрією активної зони.

Результати синтезу реалізовано у складі проекту роботизованого технологічного комплексу для обробки сталевих труб великого діаметру (рис. 2). Можливість зміни просторової орієнтації індукторних модулів відносно поверхні об'єкта оперування, та їх індивідуальне керування, дозволяє реалізувати різні просторові рухи (поступальний, зворотно поступальний, обертовий, гвинтовий, плоско-паралельний, або складний програмований) рух технологічного об'єкта.

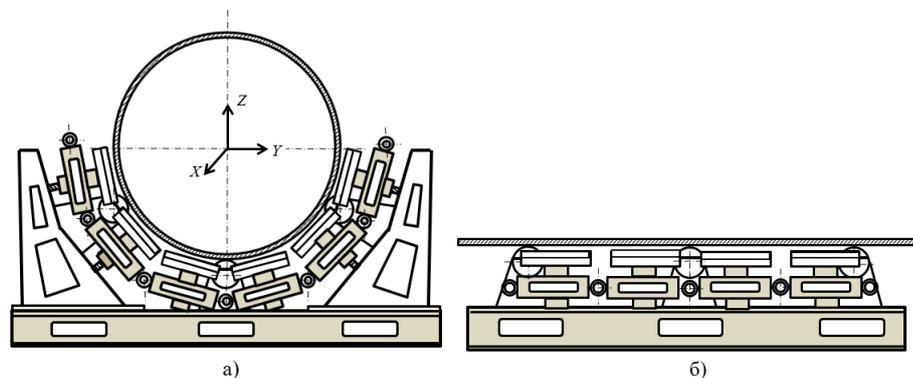


Рис. 2. Багатофункціональна електромеханічна система з просторовою адаптацією активної зони індукторних модулів для технологічного маніпулятора сталевими трубами (а) і листовим прокатом (б)

В даному проекті використано поворотні індукторні модулі з пружною деформацією активної поверхні, що дозволяє оперувати як сталевими трубами різного діаметру, так і сталевим листовим прокатом. Використання таких модулів відносно поверхні об'єкта оперування, дозволяє реалізувати різні алгоритми керування просторового руху технологічного об'єкта (поступальний, зворотно поступальний, обертовий, гвинтовий, плоско-паралельний, або складний програмований рух).

Реалізація генетично синтезованих технічних рішень забезпечує:

- високу адаптивність просторово розподіленої системи індукторних модулів до оперування великогабаритними сталевими об'єктами різної просторової геометрії, габаритів і маси з можливістю повної автоматизації технологічними процесами;

- розширення функціональних можливостей електромеханічної системи (за рахунок зміни кількісного складу, просторової орієнтації та способів керування режимами роботи індукторних модулів) з реалізацією програмованих режимів функціонування технологічного маніпулятора;

- реалізацію енергоощадних режимів обробки (за рахунок використання оптимальної кількості активних модулів в залежності від габаритних розмірів, геометрії і маси об'єкта маніпулювання);

- повну уніфікацію індукторних модулів і основних вузлів маніпулятора, підвищення надійності та ремонтоздатності ЕМ-системи.

### Література

1. Королев А. А. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов. — М.: Металлургия, 1987. - 480 с.

2. Стеблов А.Б., Злобин А.А., и др. Компактный комплекс по переработке труб большого диаметра в мелкосортный прокат // Литье и металлургия, № 2, 1916. – С. 56 – 60.

3. Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.

4. Шинкаренко В.Ф. Генетические программы структурной эволюции антропогенных систем. (Междисциплинарный аспект) // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 13, том 4. - Мелітополь, 2013. – С. 11 - 20.

5. Шинкаренко В.Ф. Генетическое предвидение как системная основа в стратегии управления инновационным развитием технических систем. Праці Таврійського державного агротехнічного університету. Вип. 11, том 4, 2011. – С. 3 – 19.

6. Shynkarenko V., Makki A., Kotliarova V. and Shymanska A. Modular Principle in the Structural organization and Evolution of Electromechanical Objects. 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2019. -P. 162-165.

7. Красовський П.О., Місан Н.А., Шинкаренко В.Ф. Макрогенетична програма і структурна еволюція електричних машин з поворотним статором // Міжнародний науково-технічний журнал молодих учених, аспірантів і студентів "Сучасні проблеми електроенергетики та автоматики», 2019. – С. 245-248 Режим доступу: <http://jour.fea.kpi.ua/article/view/198461/198697>

# АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ З ДВЕНАДЦЯТИЗОННИМ РЕГЮЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ І АКТИВНО-ІНДУКТИВНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Михайленко В.В., к.т.н., доцент

Чибеліс В.І., доцент

Зіменков Д.К., ст.викл.

НТУ України “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, [VladislavMihailenko@i.ua](mailto:VladislavMihailenko@i.ua)

Аналіз показників різного виду виконавчих елементів слідкуючих систем на основі високомоментних двигунів постійного струму (D) серії 2П і трифазних асинхронних двигунів серії 4А, які випускаються промисловістю серійно [1], показують, що за умови однакових показників за масою в діапазоні потужностей від 100 Вт до 500 кВт. У роботах [1-3] показана доцільність використання структур перетворювачів частоти (ПЧ) з однократною модуляцією при побудові систем вторинного електропостачання для комплексів діагностики електромеханічних пристроїв. У даній роботі проводиться аналіз аспекту використання тієї ж структури ПЧ в якості ланки високої частоти, що стосується побудови перетворювачів для електромеханічних комплексів із широтно-імпульсним регулюванням (ШІР) напруги.

Метою роботи є використання методу багатопараметричних функцій з використанням пакету MATCAD для аналізу електромагнітних процесів в електричних колах з напівпровідниковими комутаторами з дванадцятизонним регулюванням вихідної напруги.

Структурна схема напівпровідникового перетворювача (НПП) показана на рис. 1. На структурній схемі позначені: СМАВ, СМВС, СМСА – силові модулятори (СМ) лінійних напруг АВ, ВС і СА відповідно, ВВ – високочастотний випрямляч, Н – навантаження. Сукупність СМ, підключених до енергетичної мережі паралельно і з’єднаних по виходу послідовно, представляє собою ланку високої частоти перетворювача.

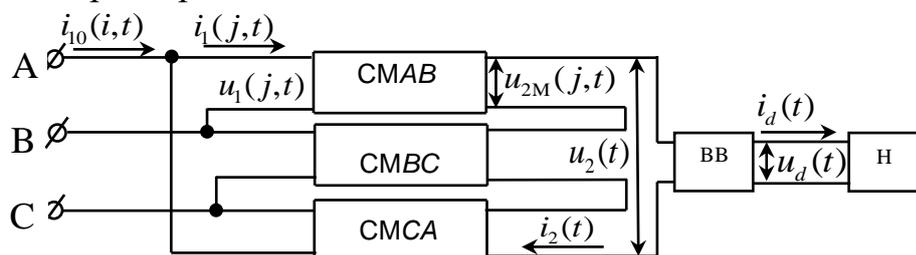


Рис. 1. Структурна схема перетворювача

Таким чином кожен СМ має в своєму складі  $N$  інверторів випрямленої напруги (ІВН), де  $N$  – це число інверторів.

Створення математичної моделі перетворювача передбачає розробку математичного забезпечення, спроможного провести аналіз його електромагнітних процесів відносно енергії, яка генерується, з урахуванням характеру навантаження, енергії, яка при цьому споживається, а також енергії, яка перетворюється в окремих ланках і елементах перетворювача.

При складанні моделі перетворювача використаємо метод багатопараметричних модулюючих функцій [3]. При цьому приймемо такі припущення: вхідна енергетична мережа симетрична і її внутрішній опір дорівнює нулю, транзистори і діоди ІВН представляються ідеальними ключами, узгоджувальні трансформатори не мають втрат, а навантаження перетворювача має активно-індуктивний характер.

Дана структура дозволяє реалізувати багатоканальний спосіб перетворення параметрів енергії мережі, при якому в СМ здійснюється розгалужена модуляція миттєвих значень попередньо випрямлених лінійних напруг  $u_1(j, t)$ , частоти  $\omega_1$ , трифазної мережі відповідними модулюючими впливами  $\psi(p, N, t)$ , частоти  $\omega_2$ . В результаті цього на виході кожного з ІВН формується напруга

$$u_{2M}(p, j, t) = \frac{1}{k_T} u_1(j, t) \phi(j, t) \psi(p, N, t), \quad (1)$$

де:  $i = 1, 2, 3$  – номери фаз мережі;  $k_T$  – коефіцієнт трансформації трансформатора;  $p = 1, 2, 3, \dots, N$  – номери зон регулювання;  $\phi(j, t)$  – функції, співпадаючі за часом з положенням лінійних напруг мережі;  $u_1(j, t)$  – миттєві значення вхідної напруги.

Функції прямокутного сінуса подаються як

$$\phi(j, t) = \text{sign} \left\{ \sin \left( \omega_1 t - \frac{(j-1)2\pi}{3} + \frac{\pi}{6} \right) \right\}, \quad (2)$$

а миттєві значення вхідної напруги мережі представлені у вигляді

$$u_1(j, t) = \sqrt{3} U_{1m} \sin \left( \omega_1 t - \frac{(j-1)2\pi}{3} + \frac{\pi}{6} \right), \quad (3)$$

$U_{1m}$  – амплітудне значення фазної напруги, а вихідна напруга  $u_d(t)$  подається як

$$u_d(t) = \frac{1}{k_T} \sum_{p=1}^{12} \sum_{j=1}^3 u_1(j, t) \phi(j, t) \psi(p, N, t) v(t), \quad (4)$$

де  $v(t)$  – функція прямокутного сінуса, співпадаюча за часом з положенням вихідної напруги  $u_2(t)$  ланки високої частоти перетворювача.

$$v(t) = \text{sign}(u_2(t)). \quad (5)$$

Струм навантаження знайдемо, як реакцію  $RL$ -ланцюга на дію напруги (5). Для цього диференціальне рівняння, складене для вихідного контуру, представимо як

$$i_d(t)R + L \frac{di_d(t)}{dt} = u_d(t) \quad (6)$$

де:  $R$  і  $L$  – відповідно активний опір і індуктивність навантаження.

Рішення (6) відносно струму навантаження визначимо числовим методом за допомогою функції `odesolve`

$$i_d(t) = \text{odesolve}(t, s, z), \quad (7)$$

де:  $t$  – час;  $s$  – часовий інтервал;  $z$  – кількість точок на часовому інтервалі.

Часові діаграми струму навантаження в координатах вихідної напруги перетворювача, побудовані за виразом (7), представлені на рис. 2.

Вхідний струм високочастотного випрямляча має вигляд

$$i_2(t) = i_d(t)v(t). \quad (8)$$

Для визначення вхідних СМ у всьому діапазоні регулювання вихідної напруги підсумуємо вхідні струми відповідних ІВН.

$$i_1(j,t) = \frac{1}{k_T} \sum_{p=1}^{12} i_2(t)\psi(p,N,t)\phi(j,t). \quad (9)$$

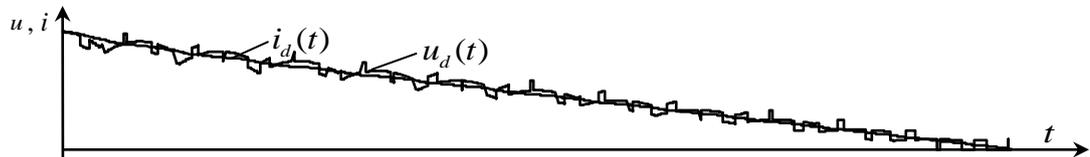


Рис. 2. Часові діаграми струму і напруги навантаження та вхідних струмів інверторів в координатах лінійних напруг енергетичної мережі

Струми  $i$ -х фаз енергетичної мережі з співвідношень

$$\begin{aligned} i_{10}(1,t) &= i_1(1,t) - i_1(3,t) \\ i_{10}(2,t) &= i_1(2,t) - i_1(1,t) \\ i_{10}(3,t) &= i_1(3,t) - i_1(2,t). \end{aligned} \quad (10)$$

Часові діаграми вхідних струмів  $i$ -х фаз енергетичної мережі в координатах фазних напруг, побудовані за (10) представлені на рис. 3.

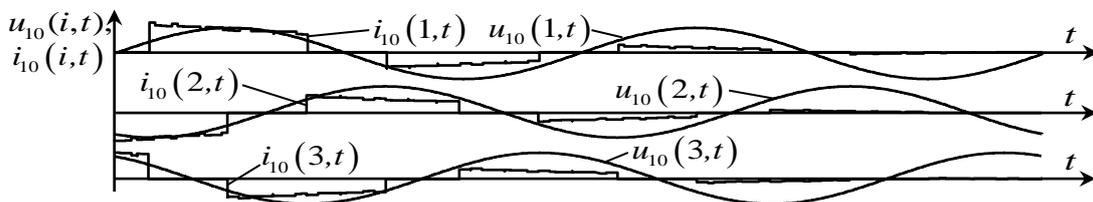


Рис. 3. Часові діаграми струмів  $i$ -х фаз мережі в координатах фазних напруг

Подальші уточнення при моделюванні процесів можуть відноситись до урахування внутрішніх параметрів мережі живлення щодо їхніх еквівалентних опорів та індуктивностей, зміни внутрішніх параметрів навантаження.

### Література

1. Кочергин В.В., Следящие системы с двигателем постоянного тока. Л.: Энергоатомиздат, 1988.- 171 с.
2. Резцов В.Ф., Павлов В.Б., Юрченко О.М. Аналіз системи тягового електропривода електромобіля з урахуванням нелінійних елементів // Праці Інституту електродинаміки НАН України. – 2003. – № 1 (4) – с. 73-78.
3. Сенько В.І. Перехідні процеси в електричних колах напівпровідникових перетворювачів з дев'ятизонним регулюванням напруги на електротехнологічному навантаженні / Сенько В.І., Михайленко В.В., Розіскулов С.С., Бур'ян С.О., Чуняк Ю.М. Праці Ін-ту електродинаміки НАН України: Київ, 2019. Вип. 53. С. 75-79.

## **ВИБІР КАБЕЛЮ ДЛЯ СИСТЕМИ АЕРОДРОМНИХ ВОГНІВ ІЗ ПАРАЛЕЛЬНОЮ СХЕМОЮ ЖИВЛЕННЯ**

**Молчанов О.В.**, ст.викл., НАУ, [molchanovlesha@ukr.net](mailto:molchanovlesha@ukr.net);

**Молчанова К.В.**, к.т.н., доцент, НАУ

Найбільш розповсюдженою схемою живлення аеродромних вогнів є послідовна через ізолюючий трансформатор. Однак розвиток електронних пристроїв, а також світлодіодів, дозволило створювати ССА з регульованою силою світла вогнів із паралельною схемою живлення, яка довгий час вважалась не перспективною, оскільки мала ряд суттєвих недоліків. Одним з основних є складність регулювання сили світла вогнів та забезпечення її однакового значення для всіх вогнів підсистеми.

Застосування індивідуальних блоків живлення для кожного вогню, дозволило вирішити проблему різної напруги на джерелах світла окремих вогнів у підсистемі, а зменшення потужності вогнів дозволяє зменшити втрату напруги вздовж кабельної лінії.

Однак, оскільки паралельна схема живлення використовувалась для мобільних ССА для аеродромів обладнаних для неточного заходу на посадку (типу ВМІ) (в нашій країні це комплекти системи «Луч 2» та «Луч 4», що представляють собою повний мобільний комплект із вогнів, пультів керування, з'єднувальних кабелів, дизель електростанції), немає рекомендацій для вибору кабелів при проектуванні нових ССА із використанням світлодіодних вогнів для аеродромів цивільної авіації України.

В документах ІКАО вказується, що ССА із паралельною схемою живлення можуть використовуватись для місцевих аеродромів із короткими ЗПС та мають одну з небагатьох переваг перед послідовною схемою живлення – те, що при такому використанні для їх експлуатації можна залучати спеціалістів з обслуговування промислових електроустановок без спеціальної перепідготовки.

Для ССА із послідовною схемою в документах ІКАО [1] наводиться методика розрахунку схеми електроживлення. Обираючи одну із номінальних сил струму, визначається переріз та тип кабелю, що буде використовуватись незалежно від довжини кабельної лінії та кількості вогнів, робляться подальші розрахунки, пов'язані із вибором регулятора яскравості, який і виконує функцію керування силою світла аеродромних вогнів.

При використанні паралельної схеми живлення критичним є значення напруги на затискачах джерела світла або блоку живлення вогню, яке буде залежати від напруги на вході КЛ та падіння напруги вздовж лінії.

Паралельна схема живлення є найбільш розповсюдженою в електроенергетиці. Тому застосовуємо для вибору кабелю методики, розроблені для розрахунку промислових кабельних ліній.

Корпорація «ВАТРА» запропонувала аеродромні вогні світлодіодного типу із паралельною схемою живлення для обладнання ССА типу ВВІ-І. Передбачається можливість встановлення такої системи в міжнародних

аеропортах України, довжина ЗПС в яких складає понад 2000 м. А з урахуванням протяжності вогнів наближення, протяжність ССА складає понад 3800 м. В більшості випадків для України довжина ЗПС не перевищує 3000 м. Тому можемо вважати, що при умові виконання вимог по спаду напруги для ЗПС 3000 м, дозволить використовувати даний кабель (розрахунок) універсально для всіх ССА України.

Вихідні дані для розрахунку:

- довжина ЗПС – 3000 м;
- комплектність вогнів наближення – повна (900 м) з обох напрямів;
- ССА містить надземні вогні за схемою, рекомендованою в нормативних документах ІКАО для першої категорії. Характеристики вогнів відповідають вогням виробництва корпорації «ВАТРА» [2];
- вогні наближення та світлових горизонтів з напрямку посадки живляться по одній кабельній лінії;
- вогні ЗПС живляться по двох кабельних лініях;
- трансформаторна підстанція, що живить аеродромні вогні, знаходиться на траверсі ЗПС на відстані 150 метрів посередині відносно торців ЗПС;
- вогні, що входять до підсистем, їх кількість та потужність зведено до таблиці 1;
- працездатний стан аеродромних вогнів гарантується при спаді напруги 10%;
- живлення вогнів забезпечується від окремих фаз чотирьох жильного кабелю, що живиться від трифазної мережі 0,4 кВ.

Таблиця 1

Вогні що входять до складу ССА

Підсистема	Тип та характеристика	К-ть	Потужність
Вогні наближення та світлових горизонтів	Прожекторні білі	130	50
Бічні вогні ЗПС	Двонаправлені із функцією універсального лінзового вогню (білий/білий, білий/жовтий)	72/48	60/65
Вхідні вогні ЗПС	Прожекторні зелені	40	15
Обмежувальні вогні ЗПС	Прожекторні червоні	40	8
Глісадні вогні	Червоно-білі	8	120

Розрахунок проведено відповідно до методики визначення мінімальної кількості провідникового матеріалу (мідь) із урахуванням допустимого спаду напруги [3]. Для цього проводимо розрахунок моментів навантаження вздовж кабельної лінії.

Приймаємо найпростішу структуру кабельної лінії, коли всі споживачі розташовані вздовж одного трифазного кабелю без розгалужень, довжини та переріз однофазних ділянок від магістрального кабелю до блоку живлення в розрахунку нехтуємо у зв'язку із малою протяжністю та споживаною потужністю.

Вибір кількості КЛ ґрунтується з таких міркувань.

Відмова кабельної лінії, що живить вогні наближення, призведе до відмови підсистеми, проте не призведе до відмови ССА в цілому, і переведе ССА у стан нульової комплектності вогнів наближення.

Використання двох кабельних ліній для вогнів ЗПС хоча і не забезпечує резервування електроживлення підсистем, однак у випадку відмови однієї з кабельних ліній залишає для пілота повітряного судна на етапі візуального пілотування половину орієнтирів та зберігається їх взаємне розташування.

Протяжність кабельної лінії для живлення вогнів ЗПС сягає понад 6 кілометрів, зменшення кількості вогнів, які живляться від неї, зменшує струм в лінії і зменшує спад напруги.

Використання найпростішої топології кабельної лінії має спростити процес налагодження системи керування вогнями.

Провівши розрахунки, в результаті отримуємо необхідний переріз провідникового матеріалу не менше  $19 \text{ мм}^2$  для живлення вогнів ЗПС і не менше  $17 \text{ мм}^2$  для вогнів наближення. Найближче більше стандартне значення перерізу кабелю для обох випадків складає  $25 \text{ мм}^2$ .

Метою роботи було визначення перерізу кабелю уніфікованого для всієї ССА, що має вогні світлодіодного типу із паралельною схемою живлення для основної маси аеродромів України.

В результаті, вимоги до магістрального кабелю можуть виглядати таким чином: гнучкий мідний чотирьох жильний кабель із багатопроволочною жилою перетином  $25 \text{ мм}^2$ , що допускає безпосереднє прокладання в ґрунт.

## Література

1. Дос 9157. Руководство по проектированию аэродромов. Часть 5. Электрические системы. Издание второе. ИКАО, Монреаль 2017 - 244с.
2. Каталог продукції ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА»
3. Осветительные установки – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981.- 288с. ил.

## **ФОТОБІОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ЯКІСТЬ ФОТОПОЛІМЕРИЗАЦІЇ – ОСНОВНІ ФАКТОРИ В ОРГАНІЗАЦІЇ ШТУЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ СТОМАТОЛОГІЧНОГО КАБІНЕТУ**

**Пітяков О.С.**, директор Полтавського політехнічного коледжу Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», аспірант Харківського національного університету міського господарства імені О.М.Бекетова

Колір та світло завжди були визначальними факторами, що забезпечують нормальну життєдіяльність людини, якість та безпечність умов праці і відпочинку. Як відомо світло – це електромагнітні хвилі в інтервалі частот, що сприймаються людським оком та мають довжину хвилі 380-780 нм. Колір – це властивість світла, що викликає певні зорові відчуття відповідно до спектрального складу випромінювання. Світло різної довжини хвиль збуджує різні кольорні відчуття. Також світло та колір дуже потужно впливають на психо-емоційний стан людини. Цікаво й те, що майже 80 % енергії людський організм витрачає через очі.

Стоматологічна практика передбачає велике навантаження на зір лікаря-стоматолога, а також координацію очей та рук. Для таких робіт необхідне точне сприйняття оточуючого простору, що повинно забезпечуватись і високими вимогами до штучного освітлення робочого місця стоматолога. Це можна досягти забезпеченням трьох основних факторів [1]:

- створення адекватного візуального сприйняття;
- виключення багаторазової акомодатії очей через різний рівень освітленості під час переведення погляду. Чим більші світлові контрасти в полі зору стоматолога, тим більша акомодатія, що швидко втомлює очі;
- невірне співвідношення рівнів освітленості в приміщенні призводить до значної напруги дельтавидного та трапецієвидного м'язів, що викликає швидшу втомленість організму.

Дуже часто в стоматологічній практиці освітлення не відповідає вимогам. Більшість лікарів-стоматологів страждають зниженням зору, швидкою втомленістю. Проблема в тому, що зміни в здоров'ї виявляються тільки після тривалого періоду часу, коли зорова втома постійно зростає протягом тривалого часу роботи при недосконалому освітленні. Часто ця проблема є результатом взаємного впливу неправильного робочого положення стоматолога, недостатнього візуального комфорту, надмірного рівня шуму та ін. А недосконалість норм щодо організації штучного освітлення стоматологічних кабінетів, які не враховують особливості сучасних освітлювальних приладів, цю проблему посилюють.

Більшість лікарів стоматологів приділяють увагу лише операційному освітленню, однак гострота зору підвищується з збільшенням освітленості до певного рівня, при якому створюється якісна видимість. Цей поріг складає приблизно 20000 лк. Але навіть такий рівень освітленості не впливає позитивно,

коли штучне освітлення стоматологічного кабінету влаштоване невірно. Різкий контраст освітлення робочих зон та недостатня освітленість призводять до ризику зорових захворювань. Все частіше для освітлення стоматологічних кабінетів застосовується освітлювальне обладнання на твердотільних джерелах світла, які випромінюють видиме світло в вузькому діапазоні 380-500 нм (від фіолетового до синього). Відомий факт, що синє випромінювання відповідає за невізуальні функції, а також за когнітивну здатність та відчуття благополуччя. Вплив великої кількості синього світла надзвичайно шкідливе для очей та може знизити гостроту зору і контрастну чутливість. Синє випромінювання несе більше енергії, ніж червоне, зелене та жовте і проникає найбільш глибоко в око до самої сітківки, що може призвести до вікової макулярної дегенерації – основної причини сліпоти. Для стоматолога вплив світлодіодного випромінювання в сукупності усіх освітлювальних приладів може бути ще значнішим. Потужні світлодіодні лампи для затвердіння, світлодіодні системи загального освітлення та освітлення робочого поля, прискорювачі для відбілювання, що все частіше замінюють на більш енергоефективні стають причиною зорових захворювань стоматологів і потребують більш якісного нормативного урегулювання.

Дослідження показують, що шкідливість впливу ультрафіолетового та синього випромінювання накопичується протягом всього життя [2]. Циклічний інтенсивний вплив світла, що може виникнути через відбиття від поверхні зубів при роботі потужних світлових установок для затвердіння, небезпечний для стоматологів та техніків під впливом навіть 6 секунд протягом дня. Окрім цих установок вплив іншого світлотехнічного обладнання призводить до активації та надмірного виробництва активного кисню, що викликає окислювальні процеси. Деякі експериментальні установки виявили й фототоксичний вплив синього випромінювання. Під впливом потужного світлодіодного випромінювання з близької відстані протягом кількох секунд фоторецептори швидко пошкоджуються. Ще протягом кількох хвилин це викликає прозапальний імунний каскад, що додатково пошкоджує мітохондріальну ДНК, активуючи апоптоз відмирання клітин. При цьому токсичні залишки поглинаються сітківкою, що призводить до невідворотних та непоправних шкідливих наслідків. З часом все більше окислених ліпідів та відпрацьваного пігменту зору накопичуються в мембрані сітківки, створюючи бар'єр для ефективної циркуляції в сітківці. Це, в свою чергу, призводить до утворення вільних радикалів, активує молекулу судинного ендотеліального фактора росту, що призводить до виникнення сліпоти.

Основним нормативним документом, який регламентує мінімальні параметри освітленості трьох полів в зоні оточуючого освітлення стоматологічного кабінету (E1, E2, E3) є міжнародний стандарт DIN 67505: 1986-09. E1 – це поле загального руху в кабінеті, де оптимальний рівень освітленості повинен бути не менше 500 лк, поле E2 – це зона підготовки до роботи з необхідною мінімальною освітленістю 1000 лк, та поле E3 20 на 30 см, що безпосередньо оточує робочу зону (ротову порожнину), де рівень освітленості повинен складати не менше 1600-2400 лк. Окрім того стандартом визначено

відсоток відбитого світла від стін, підлоги та стелі, а також колірну температуру освітлення. Середній рівень освітленості в робочій зоні сучасних стоматологічних кабінетів, який створюють сьогодні всі операційні світильники, що розміщуються на стоматологічних установах, складає близько 21500 лк.

Враховуючи специфіку випромінювання світлодіодних джерел світла та надзвичайно високий рівень освітленості, який створюють сучасні світлодіодні установки, які використовуються в стоматології крім вище перелічених небезпек фотобіологічного впливу на організм, таке випромінювання може призводити й до погіршення якості фотополімерних пломб ще на стадії їх підготовки та встановлення в зубних каналах.

Більшість сучасних фотополімерних композиційних матеріалів містять світлочутливий каталізатор – камфорохінон, який під впливом променів видимого випромінювання в діапазоні 375-500 нм, з максимумом на рівні 470 нм руйнується, утворюючи радикали (процес активації реакції полімеризації). В якості фотоініціаторів використовуються також і інші речовини, такі як 1-феніл-1, 2-пропандіон та люцерин. Їх діапазон поглинання пов'язаний з хвилями більш короткої довжини з максимумом на рівні 400 нм. Вільні радикали реагують з молекулами мономеру та передаючи їм реакційну здатність до інших молекул мономеру (початок процесу ініціації). Активні молекули мономеру реагують одна на одну та полімерні зв'язки з утворенням сітки. На наступному етапі розростання відбувається приєднання молекул мономеру до полімерного ланцюга. При цьому відбувається зміна фізичних властивостей матеріалу (процес затвердіння). Полімеризація починається та продовжується тоді, коли інтенсивність світлового потоку достатня для підтримки збудженого стану фотоініціатора. Тільки в збудженому стані камфорохінон реагує з амінами та формує вільні радикали. В стоматології процеси полімеризації використовуються не лише при роботі з композитами, а й з різними групами цементів, матеріалів для лікувальних та ізолюючих прокладок, герметиків [4].

Отже процес полімеризації при світлодіодному освітленні високої інтенсивності може початися ще до початку формовки в ротовій порожнині, оскільки піки випромінювання твердотільних джерел світла співпадають з піками полімеризації фотокомпозитів та цементів. Вище перелічені проблеми вимагають перегляду нормативної бази та комплексного підходу в організації правильного штучного освітлення стоматологічних кабінетів. Що особливо важливо при використанні сучасного світлотехнічного обладнання.

#### **Література**

1. Оне Хокверда. Освещение и сочетание цветов в стоматологической практике с точки зрения эргономики. ДентАрт. 2008. №2.
2. Kerry Salsberg. Blue Light Hazard in Dentistry. Oralhealth. March 1, 2014.
3. Князева М.А. Виды стоматологических фотополимеризационных устройств и их сравнительная характеристика. Вестник ВГМУ, 2011, Том 10. №4. С. 138-147

**ГЕНЕТИЧНИЙ СИНТЕЗ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ  
БАГАТОКООРДИНАТНОГО РУХУ НА ОСНОВІ  
УНІФІКОВАНИХ МОДУЛІВ**

**Шинкаренко В.Ф.**, д.т.н., професор

**Лихогуб А.П.**, студент,

НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», [ntuukafem@ukr.net](mailto:ntuukafem@ukr.net)

Багатокоординатні електромеханічні системи (ЕМ-системи) широко використовуються в високоточних роботизованих комплексах, приводі виконавчих пристроїв, технологічних маніпуляторів, в електромеханічних системах орієнтування і позиціонування, збиральних автоматизованих лініях та ін.

Модульний принцип є одним з найбільш поширених і продуктивних механізмів структуроутворення, який широко представлений як в живій природі, так і в сучасних технічних системах. Модульність є властивістю довільної структурованої системи, безпосередньо пов'язаною з можливістю її декомпозиції на ряд внутрішньо пов'язаних між собою уніфікованих вузлів (модулів). Модульний принцип використовується на всіх рівнях структурної організації технічних систем, що дозволяє скоротити термін освоєння нової техніки і забезпечити гнучкість керування зростаючою складністю об'єктів виробництва [1].

Результатами попередніх досліджень встановлено, що генетична структура переважної більшості ЕМ-об'єктів визначається відповідною комбінацією генетичних операторів, які визначають рівень структурно-інформаційної складності, її статус, і локалізують пошуковий простір існування структур з точки зору реалізації заданої цільової функції [2,3]. Кожному генетичному оператору, через відповідну групу математичних перетворень, ставиться у відповідність певний тип структурної організації об'єкта (табл. 1). Комбінація генетичних операторів породжує відповідний клас структур – нащадків з гарантованим емерджентним ефектом. Результати генетичного аналізу структур ЕМ-об'єктів вказують на наявність стійких детермінованих зв'язків між комбінаціями генетичних операторів і типами синтезованих структурних еквівалентів (табл. 1).

Розглянемо задачу синтезу ЕМ-системи модульного типу для приводу поворотного пристрою. Виходячи з вихідних вимог, інтегральна функція синтезу  $F_S$  має задовольняти наступній сукупності часткових вимог: 1) Забезпечувати реалізацію дво- і трикоординатного обертального рухів ( $\omega \in R^3$ ); 2) Мати спільну родову геометрію активних частин ( $G_{TH}$ ); 3) Забезпечити використання однотипних уніфікованих елементарних модулів ( $N_E = 1$ ); 4) Мати зосереджену обмотку в структурі уніфікованого модуля якоря ( $W_K$ ); 5) Мати безобмоткову структуру ротора, суміщену з поворотним пристроєм ( $S_2 \times M_{III}$ ); 6) Забезпечувати реалізацію просторового руху рухомої частини в сферичній системі координат  $(r, \theta, \varphi)$ .

Таблиця 1. Взаємозв'язок комбінацій (для  $N_f = 2$ ) операторів генетичного синтезу з групами математичних перетворень і відповідними класами електромеханічних структур модульного типу

Комбінація генетичних операторів	Група математичних перетворень	Структурний еквівалент
Реплікація + ізомерія ( $R \rightarrow I$ )	Трансляційна симетрія	Просторові композиції ЕМ-структур модульного типу ( $K_i \subset R^3$ ), групова електромагнітна симетризація
Реплікація + кросингвер ( $R \rightarrow C$ )	Трансляційно-поворотна симетрія	Просторові композиції модульних ЕМ-структур з ефектом групової симетризації $N = km, (k = 1, 2, \dots)$
Схрещування + ізомерія ( $R \rightarrow I$ )	Комбінаторика	Просторові композиції модульних ЕМ-структур гібридного типу
Реплікація + мутація ( $R \rightarrow M$ )	Група трансляцій і гомеоморфних перетворень	Багатоелементні модульні структури зі змінною просторовою геометрією активної зони
Реплікація + інверсія	Трансляційна і дзеркальна симетрія	Регулярні модульні структури зі почерговою електромагнітною орієнтованістю

З врахуванням зазначених часткових вимог, вектор інтегральної функції синтезу набуває вигляду:

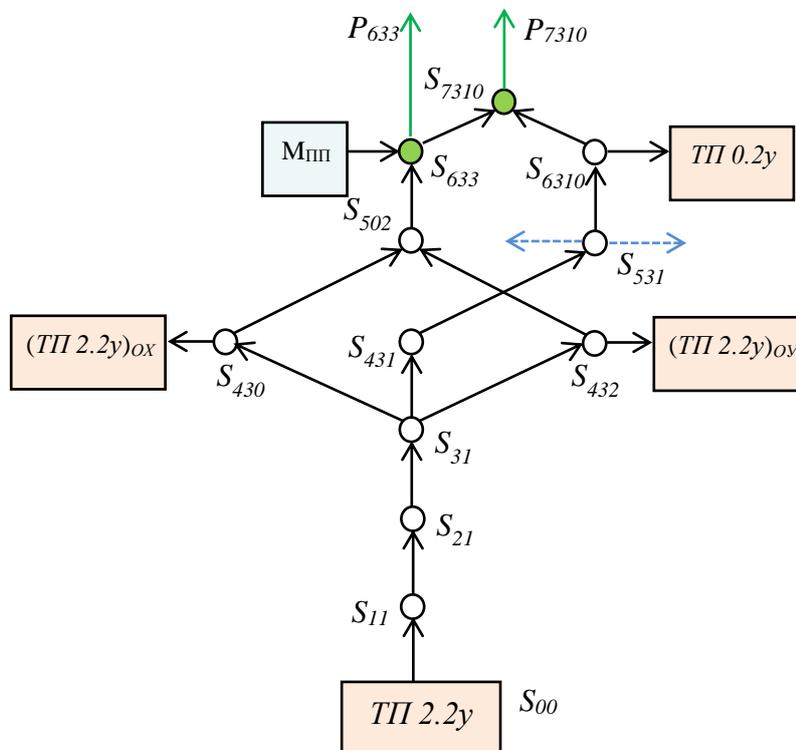
$$F_S = [(\omega \in R^3); G_{ТП}; N_E = 1; W_K; (S_2 \times T); (r, \theta, \varphi)] \subset R^n \quad (1)$$

Пошуковий простір синтезу обмежується першим великим періодом генетичної класифікації (вимога 1), локалізується інформаційним простором Роду тороїдальних плоских активних поверхонь (вимоги 2 - 3), необхідністю модульної реалізації ЕМ-системи (вимога 3) і реалізацією складного просторового рухом поворотного пристрою (вимоги 1 - 6). Не враховуються джерела – ізотопи, які характеризуються геометрією більш високого рівня складності. Заданій інтегральній функції синтезу  $F_S$  і накладеним обмеженням, з врахуванням максимальної генетичної схильності до модульної реалізації, наділені електромагнітні хромосоми підгрупи 2.2у. Для прикладу оберемо хромосому ТП 2.2у, якій надається статус батьківської (породжувальної).

Заданій функції синтезу (1), ставиться у відповідність багаторівнева генетична модель конвергентного типу, генетичну основу якої становить батьківська хромосома ТП 2.2у (рис. 1). Структура генетичної моделі має 7 рівнів структурно-інформаційної складності, які представлено: батьківською

електромагнітною хромосомою (рівень 0); набором генетично модифікованих електромагнітних хромосом інформаційного типу ( $S_{11} - S_{6310}$ ), які відтворюють процес структурно-інформаційного ускладнення шуканої структури ЕМ (рівні 2 - 6); двома хромосомами породжувального типу ( $S_{633} - S_{7310}$ ), які задовольняють вимогам інтегральної функції синтезу  $F_S$  (рівні 6 та 7).

Рис. 1. Генетична модель синтезу модульної структури електромеханічної



системи багатокоординатного поворотного пристрою.

Варіанти технічних реалізацій багатокоординатної ЕМ-системи представлені відповідними популяціями технічних рішень ( $P_{633}$  і  $P_{7310}$ ).

За результатами моделювання і генетичного аналізу визначаємо структурні формули синтезованих гібридних хромосом, які задовольняють інтегральній функції синтезу  $F_S$ :

- для поворотного пристрою з керованим двокоординатним рухом:

$$S_{633} = \{2[(ТП2.2у)_1 \times (ТП2.2у)_2 : M] : (R_{Ox} \times R_{Oy})\} \times M_{ПП} \quad (2)$$

- для поворотного пристрою з керованим трикоординатним рухом:

$$S_{7310} = [(ТП0.2у)_1 \times (ТП0.2у)_2] \times \{2[(ТП2.2у)_1 : (ТП2.2у)_2 : M] : (R_{Ox} \times R_{Oy})\} \times M_{ПП} \quad (3)$$

Структурні формули (2 - 3) задовольняють заданій функції синтезу  $F_S$  і визначають генетичну основу для розробки технічних рішень багатокоординатного крокового двигуна модульного типу для ЕМ-системи поворотного пристрою (рис. 2).

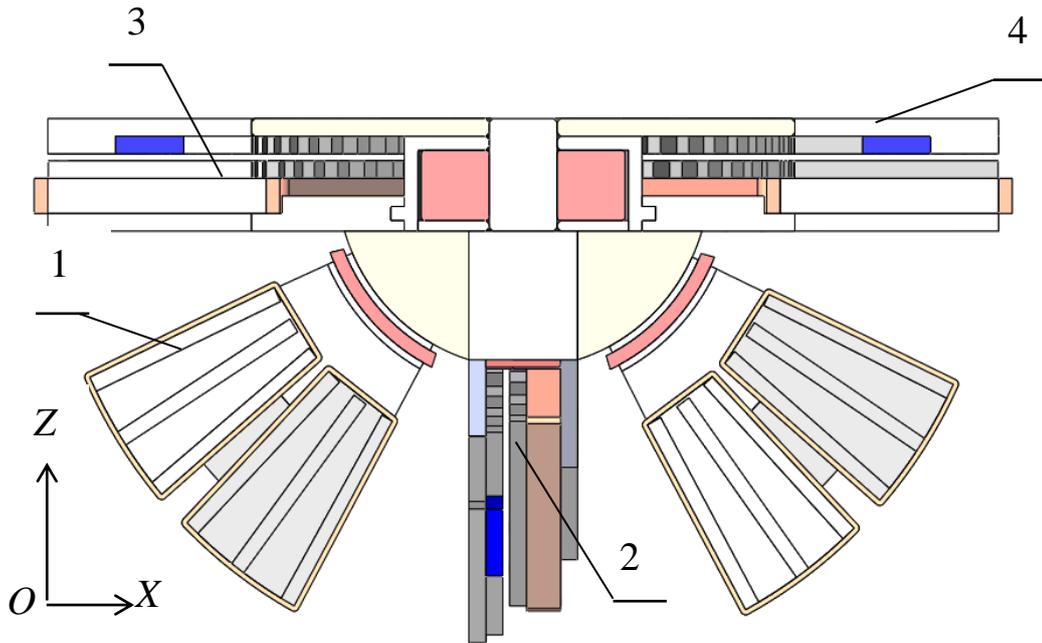


Рис. 2. Структура модульної електромеханічної системи багатокординатного руху поворотного пристрою

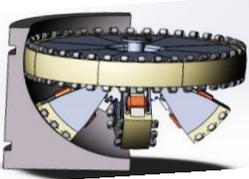
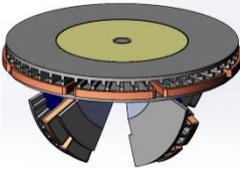
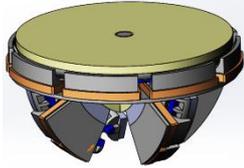
Система на рис.2. синтезована на основі хромосоми  $S_{7310}$ . 1 – поворотний модуль (ТП  $2.2y)_{OX}$ ; 2 - поворотний модуль (ТП  $2.2y)_{OY}$ ; 3 – статор модуля обертального руху (ТП  $0.2y)_{OZ}$ ; 4 – ротор, суміщений з поворотним пристроєм.

Тороїдальний статорний модуль крокового двигуна (ТП  $0.2y)_{OZ}$  забезпечує обертальний рух поворотного пристрою відносно осі  $OZ$ , а дугові модулі (ТП  $2.2y)_{OX}$  і (ТП  $2.2y)_{OY}$ , реалізують керований двокоординатний рух поворотного пристрою (в межах кута  $\alpha < \pi/2$ ) відносно ортогональних осей  $OX$  і  $OY$ .

Гомеоморфізм хромосом гомологічного ряду вказує на універсальність запропонованої генетичної моделі (рис. 1), яка відкриває можливість її використання для розв'язання задач спрямованого синтезу інших видів модульних структур, що підтверджується результатами синтезу структур модульного типу на основі модулів з циліндричною, сферичною і тороїдально циліндричною активними поверхнями (табл. 2).

Таблиця 2.

Генетично синтезовані структури (фрагмент ряду) модульних електромеханічних систем багатокординатного поворотного пристрою.

	Родова просторова геометрія активної зони		
	Циліндрична (ЦЛ)	Тороїдальна плоска (ТП)	Тороїдально циліндрична (ТЦ)
Генетичний код гібридної хромосоми	<i>ЦЛ (0.2 × 2.2)у</i>	<i>ТП (0.2 × 2.2)у</i>	<i>ТЦ (0.2 × 2.2)у</i>
3D – візуалізація синтезованих модульних структур			

Представлені моделі і алгоритми інваріантні відносно родової приналежності, принципу електромеханічного перетворення і функціонального типу ЕМ системи.

Результати досліджень можуть бути використані в системах автоматизованого пошукового проектування нових різновидів електромеханічних пристроїв модульного типу, розробці конкурентоздатних технічних рішень, створенні конструкторських та інформаційних баз даних і баз знань, а також в навчальному середовищі при постановці і розв'язанні задач, орієнтованих на розвиток системних, когнітивних, інноваційних і професійних компетенцій.

### Література

1. Княгинин В.Н. Модульная революция: распространение модульного дизайна и эпоха модульных платформ. – СПб., 2013. — 80 с.
2. Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.
3. Shynkarenko V., Makki A., Kotliarova V. and Shymanska A. Modular Principle in the Structural organization and Evolution of Electromechanical Objects. 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2019. -P. 162-165.

## НОВІТНІ ЕЛЕКТРИЧНІ ДВИГУНИ

Юрченко О. М., [ysiccameyua@gmail.com](mailto:ysiccameyua@gmail.com)

Лінійний двигун – це електродвигун, у якого один з елементів магнітної системи розімкнутий та має розвернуту обмотку, яка створює магнітне поле, а інший елемент взаємодіє з попереднім і виконаний у вигляді направляючої, яка забезпечує лінійне переміщення рухомої частини двигуна.

Розроблено такі види:

- Лінійні асинхронні двигуни
- Лінійні синхронні двигуни
- Лінійні електромагнітні двигуни
- Лінійні магнітоелектричні двигуни
- Лінійні магнітострукційні двигуни
- Лінійні п'єзоелектричні двигуни

Встановили що двигуни такі як асинхронні, синхронні, постійного струму повторюють принцип роботи обертових двигунів, а інші типи лінійних двигунів не мають практичного використання як двигуни обертового руху. Не рухому частину двигуна яка отримує електроенергію з мережі назвали статором (первинним елементом), а частину двигуна яка отримує енергію із статора – якорем (вторинний елемент) .

Дослідження показали, що для великих лінійних переміщень найбільш оптимально використовувати асинхронні та синхронні лінійні двигуни.

Під час дослідів можна отримати асинхронний лінійний двигун, якщо розрізати статор та ротор з обмотками звичайного асинхронного двигуна вздовж осі та розвернути на площині (Рисунок 1).

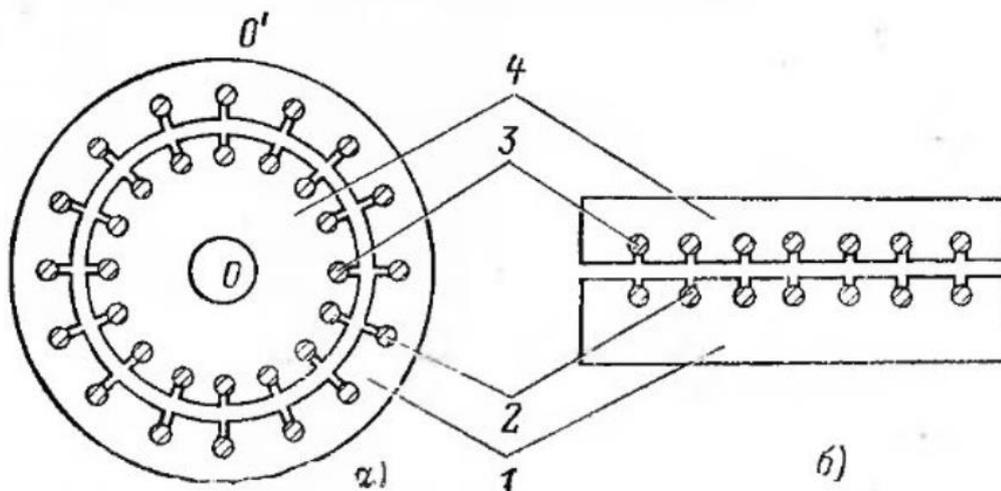


Рис. 1. Принцип побудови лінійного двигуна змінного струму  
де:

- 1-Статор;
- 2,3-Обмотки;

#### 4-Ротор.

Конструкція яка утворилась представляє собою принципову схему лінійного двигуна. Якщо обмотки статора такого двигуна підключити до мережі трифазного змінного струму, то утворюється магнітне поле, ось якого буде переміщатися вздовж повітряного зазору зі швидкістю  $V$ , пропорційно частоті живлячої напруги  $f$  і довжині полюсного дільника  $t$ , тобто  $V=2\pi f t$ . Під час переміщення вздовж зазору, магнітне поле пересікає провідники обмотки ротора і наводить в них ЕРС, під дією якої по обмотці починає протікати струм. Взаємодія струмів з магнітним полем призводить до появи сили, діючої по правилу Ленца. Як і в звичайному асинхронному двигуні, переміщення відбувається з деяким ковзанням відносно поля  $S=(V-v)/V$ , де  $v$ -швидкість руху елемента. Визначили, що номінальне ковзання лінійного двигуна дорівнює 2-6%. Дослід показав що вторинний елемент лінійного двигуна можна не завжди виконувати у вигляді обмотки. Однією з переваг являється те, що вторинний елемент можна виконувати із звичайного металевого листа який виконують з міді, алюмінію або сталі. Його можна розташувати і між двома статорами (Рисунок 2 г).

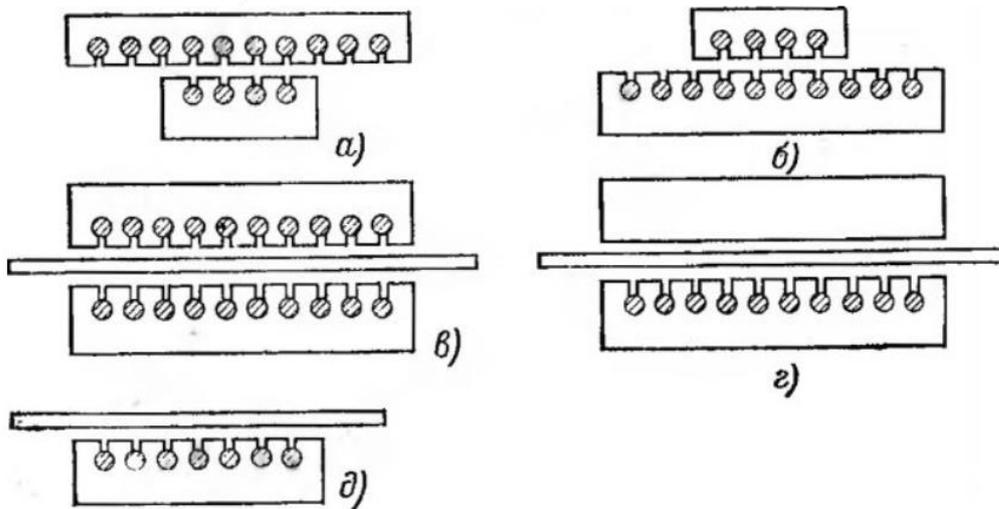


Рис. 2. Лінійні двигуни

- а) З довгим вторинним елементом;
- б) З коротким вторинним елементом;
- в) Двохстаторний;
- г) З сердечником;
- д) Зі вторинним елементом у вигляді полоси.

Принцип дії двигунів із вторинним елементом у вигляді полоси повторює роботу звичайного асинхронного двигуна з масивним феромагнітним ротором. Обмотки статора лінійних двигунів мають такі самі схеми з'єднання, що і звичайні асинхронні двигуни та підключаються до мережі трифазного змінного струму.

**ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ  
ТЕХНОЛОГІЇ «HUMAN CENTRIC LIGHTING»**Юрчук А.О., к.т.н., доц., НАУ, [alina.yurchuk@npp.nau.edu.ua](mailto:alina.yurchuk@npp.nau.edu.ua)

Катаєв Д.А., НАУ

Протягом багатьох років еволюції наш зоровий апарат змінювався і підлаштовувався під умови існування. Ми маємо стереоскопічний, кольоровий зір, і з його допомогою древні предки могли знайти собі їжу і вчасно помітити ворога. Зараз потреби людини в звичайному житті дещо змінилися, але наш організм функціонує за тими самими законами. Вплив світла на людину визначається, з одного боку, кількісними і якісними параметрами світлового середовища, з іншого – закономірностями фізіологічної оптики, вікової анатомії, психофізіології зору і фотобіології [1].

Human Centric Lighting (HCL) – це освітлення, що враховує біологічні потреби людини. Система управління освітленням має своє географічне розміщення і вибудовує управління колірною температурою освітлення відповідно до руху сонця в даній місцевості (циркадне освітлення). Одночасно автоматика пристрою вносить в роботу поправки з урахуванням часу доби. Система автоматизації освітлення «Human Centric Lighting» вже має всередині себе функцію «Tunable White». У цьому сегменті активні виробники датчиків і світильників, виробники світильників впроваджують чіпи Casambi, виробники KNX пристроїв оновлюють прошивки своїх пристроїв для підтримки HCL, в протокол управління освітленням DALI додали можливість управляти температурою світла.

Така система чудова для кабінетів керівного складу компаній і кімнат для переговорів. Наприклад, на зустрічі треба розташувати когось до себе - ви включаєте «тепле» освітлення, пропонуєте чай. Людина фізіологічно розслабляється і з ним буде простіше вести діалог. І, навпаки, якщо потрібно провести термінову нараду або мозковий штурм - ставите максимально «холодну» освітлення і ККД людей зросте. Народи будуть проходити швидко і результативно.

Ми, сучасні жителі міст, проводимо в офісі чимало часу - близько 8 годин, 250 днів у році. У зв'язку з цим, біодинамічне освітлення «Human Centric Lighting» дійсно може зробити наше перебування на роботі більш продуктивним, а наступний сон - більш комфортним. Саме для людей така система освітлення створює комфортні умови принципово нового рівня [2]. Світлодіодні модулі складаються з набору діодів, що випромінюють тепле або холодне світло. Змішуючи їх світло, ми можемо отримати колірні температури від 2700 до 6500 Кельвін від одного світильника.

Автономні рішення можуть застосовуватися як для окремих світильників так і для невеликих кімнатних рішень. Природна колірна температура і денне освітлення має безліч налаштувань в залежності від місця, часу, погоди та інших факторів. За допомогою автономних рішень можна моделювати природне

зовнішнє освітлення. Управління здійснюється за допомогою пристрою DALI Device Type 8 і може управлятися різними блоками управління в залежності від того, що ви хочете. На більш простих панелях є кнопки або повзунки, де колірна температура контролюється одним повзунком, а інтенсивність іншим. Для автоматичного динамічного контролю кольору і інтенсивності використовується роутерна система, яка регулює рівні за заданим розкладом. Колірна температура і інтенсивність регулюється по годинах і не реагує на реальні умови освітлення на вулиці, інакше в кімнаті було б дуже темно протягом зимових місяців.

Особливість DALI баластів в тому, що для управління теплих і холодних діодів вони використовують всього одну адресу. Для зміни колірної температури не потрібно складного програмування, так як пристрої вже мають предустановки з різними температурами. Вибір колірної температури для різних сцен встановлюються безпосередньо при програмуванні системи [3]. Для настройки різних колірних температур, кожен рівень (наприклад 2700K, 3000K, 4000K, 5000K) повинен вимірюватися за допомогою спектрометра і індивідуально програмуватися (Рис.1).



Рис.1. Зміна штучного освітлення в залежності від часу доби від теплого білого світла 2700K до максимального значення в полудень 5500K і навпаки

Протоколи управління світильниками дозволяють задати автоматичні сценарії для драйвера, щоб природним чином змінювати кольорову температуру світильників. Завдяки цьому, в приміщенні створюється природне натуральне освітлення.

### Література

1. Закгейм, А.Л. «Светодиодные системы освещения: энергоэффективность, зрительное восприятие, безопасность для здоровья (обзор) /А.Л. Закгейм // Светотехника. – 2012. – № 6. – С. 12–21.

2. Проектирование офисного освещения с учётом Human Centric Lighting. [Електронний ресурс]: - <https://galad.ru/helpful/articles/1426955>.

3. HCL (Human Centric Lighting) — управление температурой света. [Електронний ресурс]: - <http://statiba.by/hclhuman-centric-lighting-upravlenie-temperaturoj-sveta>.

## СИСТЕМА ПОЗИЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ПАНЕЛІ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПОЛОЖЕННЯ СОНЦЯ

**Кулик Н.І.**, к.т.н., доцент каф. АЕКІТ, Національний університет водного господарства і природокористування, n.i.kulik@nuwm.edu.ua

**Штундер Ю.М.**, студент, Національний університет водного господарства і природокористування, shtunder\_ak16@nuwm.edu.ua

На сьогоднішній день розвиток енергетичної галузі спрямований на підвищення ефективності виробництва і використання електричної енергії. Високі ресурси мають обмежені запаси, тому актуальним є розвиток альтернативних джерел електричної енергії.

Сонячні панелі є досить популярними і перспективними джерелами електричної енергії, але містять ряд факторів, які знижують ефективність їх використання. Зокрема, неправильний кут нахилу відносно Сонця значно знижує ККД панелі.

Метою даної роботи є підвищення ККД панелі за рахунок оптимізації її нахилу відносно Сонця.

Для виконання поставленого завдання було обрано наступне технічне рішення: розробка сонячного трекеру без використання фотодатчиків. Стеження за Сонцем виконуватиметься за формулами небесної механіки. Даний трекер планується розробити на основі сервоприводів і забезпечити наведення на Сонце по всій видимій області неба в будь-який час.

Для розрахунку схилення Сонця згідно днів у році скористаємося наступним співвідношенням

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360}{365}(284 + n)\right),$$

де  $\delta$  – схилення сонця;  $n$  – порядковий номер дня у році.

Кут, під яким сонячне проміння падає на горизонтальну площину (рис.1)

$$\alpha = 90^\circ - \varphi + \delta,$$

де  $\varphi$  – широта місцевості.

Для врахування руху Сонця протягом дня при визначенні кута падіння променів скористаємося наступним співвідношенням

$$\cos \alpha = \cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \delta \cdot \sin(\varphi - \beta),$$

$$\omega = 15 \cdot (\tau - 12),$$

де  $\beta$  - кут нахилу поверхні сонячної батареї відносно поверхні Землі;  $\omega$  – годинний кут,  $\tau$  – локальний час.

Для контролю положення Сонця обрано систему на основі плати Arduino nano (рис.2). Мікроконтролер отримує дату, час і координати місцезнаходження з GPS модуля і розраховує зенітний кут Сонця. Дана інформація передаватиметься драйверу керування двигунами сонячної панелі, які встановлять панель в оптимальне положення.

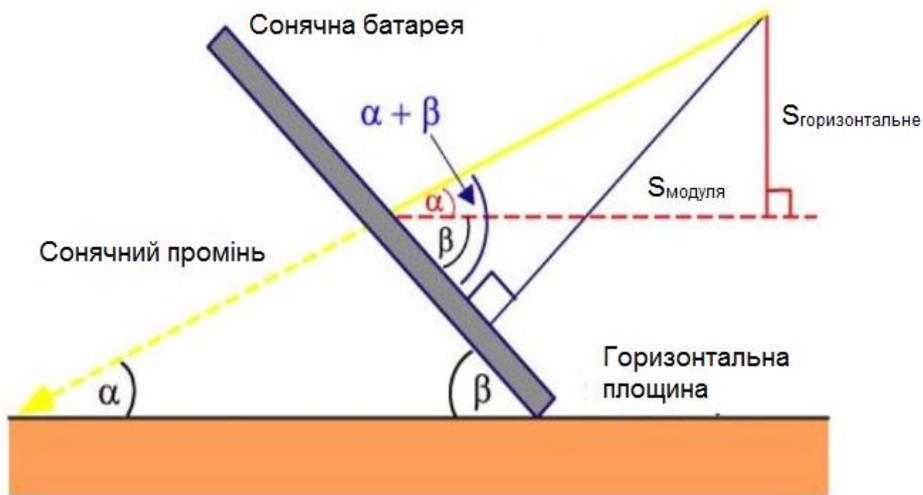


Рис.1. Розрахунок кута падіння сонячних променів на панель

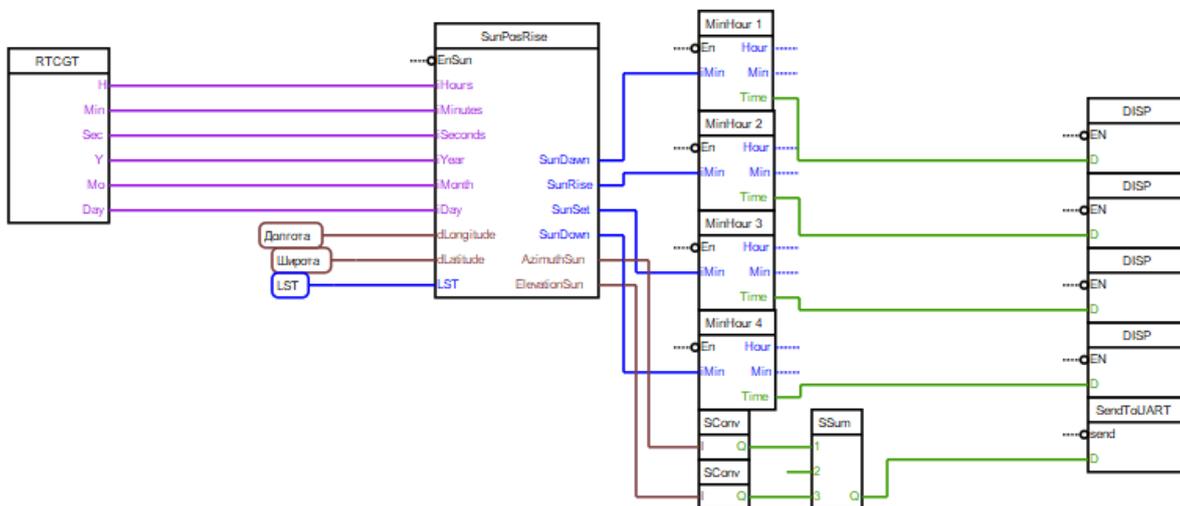
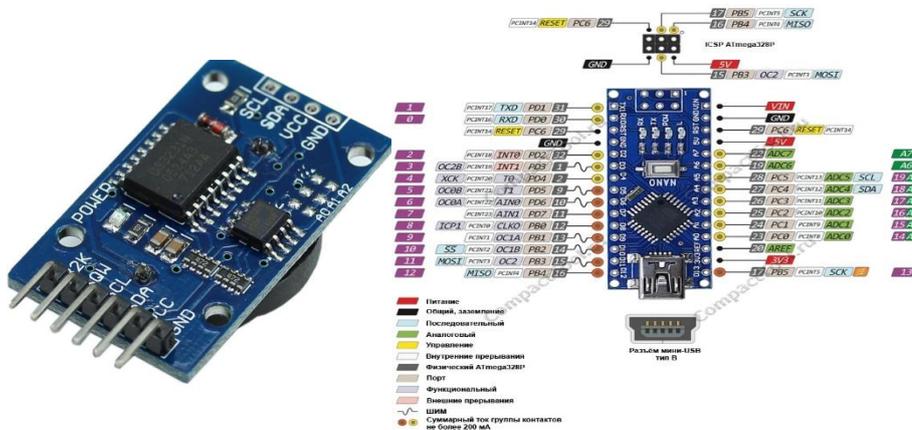


Рис.2. Блок-схема для компіляції скетчу для плати Arduino nano

Для керування установкою обрано плату Arduino nano v3.0, драйвери двигунів a4988, годинник реального часу DS3231 (рис.3,4)



а)

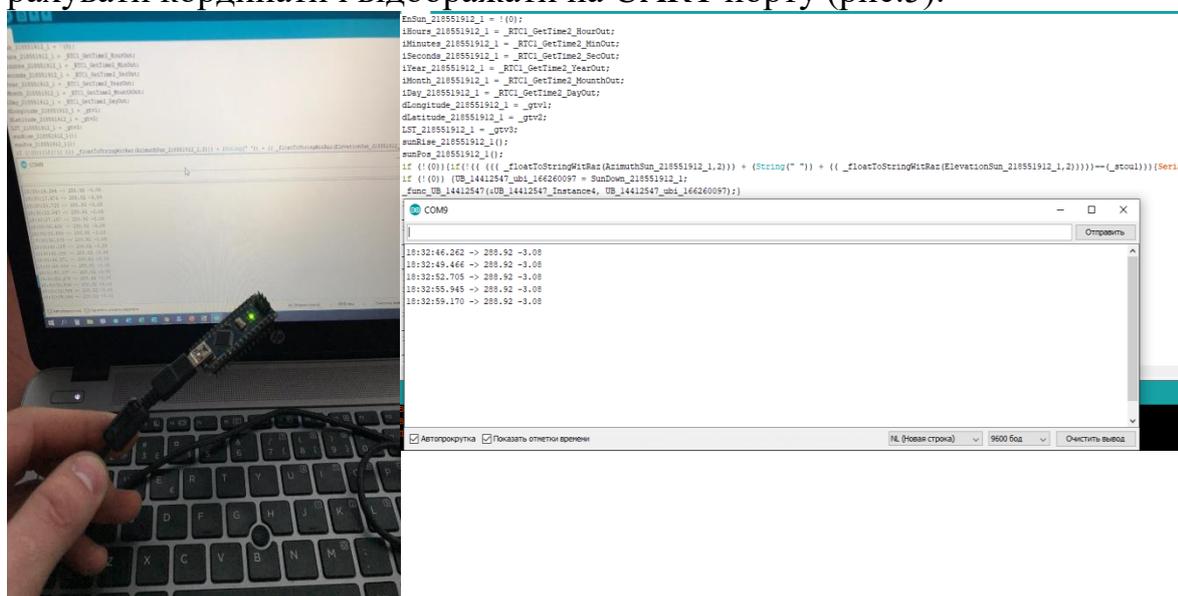
б)

Рис.3. Годинник реального часу DS3231 та плата Arduino nano v3.0



**Рис.4. Драйвер двигуна а4988**

В ході роботи була написана програмна частина, яка дозволяє визначати положення Сонця. При програмуванні контролера Arduino відразу починає рахувати кординати і відображати на UART порту (рис.5).



**Рис. 5. Демонстрація роботи контролера Arduino для визначення положення Сонця**

Результатом дослідження є розрахунок положення Сонця на кожен день року в програмному середовищі Arduino. Дана розробка дозволяє керувати кутом нахилу і повороту сонячних панелей, що, в свою чергу, підвищить її ефективність.

### Література

1. Коваль В. П. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей / В. П. Коваль, Р. Р. Івасечко, К. М. Козак // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит – 2015. - №3(134). – С.2–10.
2. Шаповал С. П. Ефективність системи теплостачання на основі сонячного колектора за зміни кута надходження теплового потоку / С. П. Шаповал, О. Т. Возняк, О. С. Дацько // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". Теорія і практика буд-ва. – 2009. – № 655. – С. 299–302.

## **СЕКЦІЯ 5**

**Інформаційні технології  
в приладобудуванні та  
машинобудуванні. Нафтогазові  
технології**

## **IMAGE RECOGNITION ON A DIGITAL PICTURE USING DEEP LEARNING TECHNIQUES**

**Olefir Oleksandr S.**, assoc. prof., Ph.D.

**Khvorostianyi Viacheslav**, student

NTU of Ukraine "I.Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",

oas7770@gmail.com

### 1 Introduction

Deep Learning is an area of machine learning that is in charge of development and application of algorithms inspired by how the human brain works.

The computer neural networks, which are the deep learning algorithms, found the wide application in the computer vision area, one of the fundamental fields of computer science.

Convolutional neural network is the deep learning algorithm that was designed in accordance with the mammal's visual cortex.

### 2 Related work

According to the research of Arizona's university [1], the quality of digital image effects dramatically the performance of the deep learning algorithms. It is a serious challenge for the scientists to get a high score inference using the data with digital noise or other distortions. In this paper, we show the ways of dealing with the image quality issue including Gaussian blur, one of the basic techniques to solve the problem. For our experiments, we used the image classifier based on a convolutional neural network, one graphics processor unit Tesla K80 with a capacity of 11441 MB and 149 Watt of power.

#### 2.1 Convolutional neural network

A convolutional neural network (CNN) is an algorithm of deep learning inspired by the biological research of mammal's visual cortex [2,3]. The algorithm is a stack of computational layers that are connected as a sequence of nonlinear transformation of data. The data in our case is a digital image. The central idea of the CNN architecture could be represented by two hypotheses that have strong confidence and were proven on practice:

- the data on the image has the patterns which are repeated at the different location of the image, thus learned ones could be reused to find the pattern in the different location (shared parameters); and
- the data on the image is redundant, which means that some information could be represented by a smaller set of parameters (down-sampling).

In the CNN algorithm, these two hypotheses are represented by specific layers which include a convolutional layer that collects the data about patterns on the image

and a pool layer that gets max or average value of a defined area and reduces dimensionality in that way.

CNN architecture demonstrates a high-level performance and overpassed human's performance on the pattern recognition tasks [4]. But the inference of such a model suffers from the bad image quality.

### 3 Gaussian blur and data augmentations

Usually, deep learning algorithms need a big amount of data. The data is collected already but these are the academic high-quality datasets that contain a necessary amount of data sometimes with little connection to real-world data and real word algorithm application. To solve the problem we propose to use data augmentations such as Gaussian blur.

Gaussian blur is a special type of convolutional layer that is not standing for image pattern recognition but only for blurring (1).

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

The method allows us to expand the existing data distribution, thus getting more data and making the data closer to the real-world data which usually has distortions.

### 4. Conclusion

The data augmentations especially Gaussian blur help to address the image quality issue. Using such a method we've got an increase in accuracy by 1% on an academic dataset (CIFAR-10). The method is applicable in such areas as computer vision on mobile devices, internet of thing (IoT), extreme condition hardware.

### References

1. Understanding How Image Quality Affects Deep Neural Networks Samuel Dodge and Lina Karam Arizona State University
2. Psychological Review Vol. 65, No. 6, 1958 F. ROSENBLATT THE PERCEPTRON: A PROBABILISTIC MODEL FOR INFORMATION STORAGE AND ORGANIZATION IN THE BRAIN - Cornell Aeronautical Laboratory
3. Hubel, D.H., Wiesel, T.N. : Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in cat's visual cortex. J. Physiol. (London) 160, 106-154 (1962)
4. Delving Deep into Rectifiers: Surpassing Human-Level Performance on ImageNet Classification Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren Jian Sun, Microsoft Research, 2015

## GOOGLE CLOUD VISION USING IN THE AUTOMATIC SORTING SYSTEM

**Ostapchuk V.V.**, student  
**Verzhikovskiy O.P.**, student.

National university of water and environmental engineering  
ostapchuk.v\_ak17@nuwm.edu.ua, verzhikovskiy\_ak17@nuwm.edu.ua

For processing large volumes of material, there is a need for automated sorting systems. Equally important is the sorting of products or objects. This process can be considered as processing large volumes of material. If you take the task of sorting a large number of different objects, the easiest way to do this is through visual recognition. In recent years, digital image processing and analysis have been increasingly used in various fields of science and technology, such as: intelligent robotic complexes, industrial control systems, motion control systems, remote sensing data processing, biomedical research, new document processing technologies and more.

This is not a narrowly profile specialized product. However, it is perfect for building primitive sorting systems where the object identification process will occur through the neural networks of these companies.

To implement it, one must take into account the features of the following components: the process itself, sorting, transporting objects and processing information. After analyzing and determining their specificity, you can obtain the requirements for the designed system and the properties that it must possess (fig. 1).

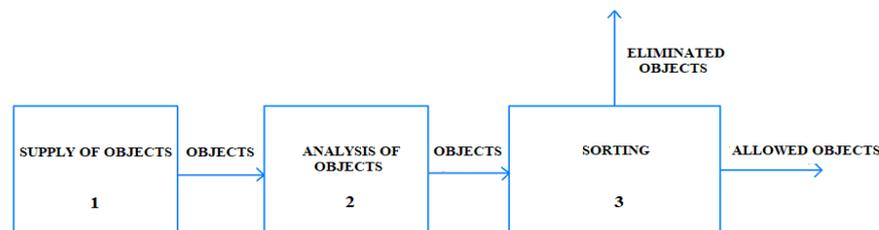


Fig. 1 Stages of the process of sorting products using computer vision

The first stage of the process is transportation of products (1) to visual analysis zone (2). After analysis, there starts products sorting by results which we had.

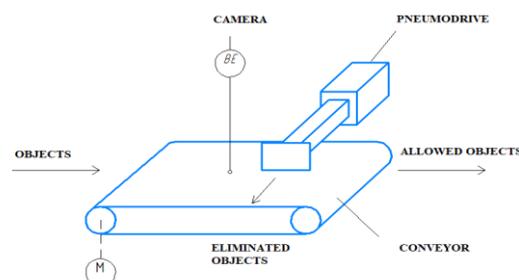


Fig. 2 Scheme of the process

The scheme consists of two circuits (fig. 2):

1) Conveyor startup circuit. Conveyor is working with the actuator which is rotates the drive. The shaft is coupled to the conveyor belt. The drive is started by connecting to the Arduino Uno board. This action is the start of the product sorting system and ensures their delivery to the analysis area and further to the sorting area.

2) Contour sorting products. Object data are transmitted from the camera to the computer where objects analysis is running by a given algorithm. If object is not suitable for dropping, so signal doesn't come and product is running further on the conveyor. The computer sends a bit to the entrance of the Arduino Uno, if there is mismatch sign. Arduino Uno make switching relays and actuates the pneumatic cylinder stem which drops defective product.

Lower level software (Arduino Uno). This program should respond to the bits sent through the serial interface from the arm, and, depending on the value of the latter, to switch the voltage at the 4th discrete output from low to high and, after 1 s, back to low.

Higher level software (fig. 3).

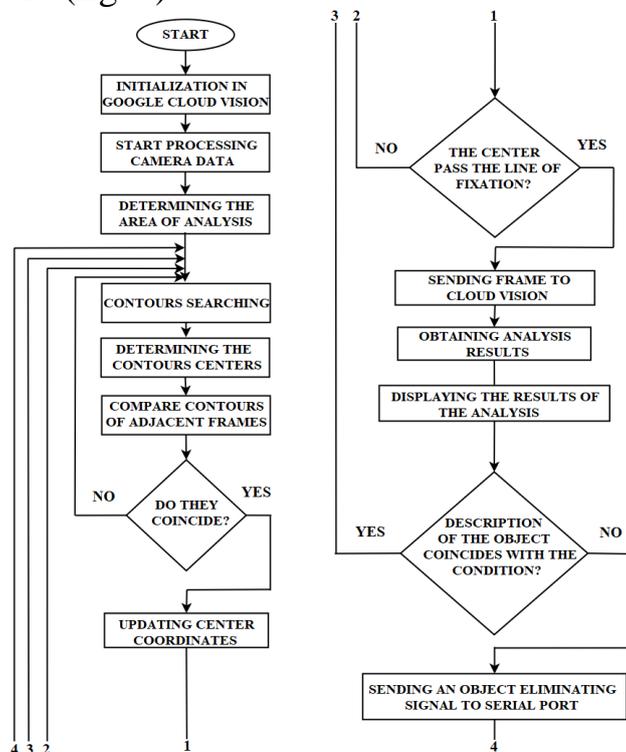


Fig. 3 Block scheme of higher level software

The top-level software in the automatic product sorting system using machine vision is a python program that runs on the workstation and must perform the following functions:

- reading the image from the camera;
- selection of contours of objects;
- object tracking;
- photo-fixation of objects when entering the area of interest;
- communication with Cloud Vision for object recognition.
- processing of Cloud Vision results;
- deciding to send a signal to reset the object from the conveyor.

## **THE ROLE OF LIGHT IN DATA TRANSFER TECHNOLOGY**

**Stakhova A.**, cand. tech. sc., NAU, [Angelik2003@ukr.net](mailto:Angelik2003@ukr.net)

**Babii M.**, student, NAU

In this work were considered main trends and prerequisites were researched as well as advantages of wireless optical data networks based on visible light emitting diodes over radio frequency data networks. Currently, research is underway to develop and embed wireless Li-Fi technology i.e. wireless communication form with the help of visible light.

Work of wide-spread wireless data transfers, such as 4G or Wi-Fi, is based on the use of radiofrequencies channels. These technologies have several significant disadvantages. For example: restriction of frequency range, mutual influence of several devices in one frequency range, data transfer speed dependency from number of users etc.

At the present time Wireless-Fidelity (Wi-Fi) provides speed 150 Mbit/s in accordance with IEEE 802.11n standards but it is not enough to satisfy needs of network users. To eliminate this Wi-Fi disadvantage, new technology was developed that known as Li-Fi, which provides two-sided high speed mobile connection with the use LED light instead of radio waves.

Li-Fi is young enough technology. Father of this invention is German physicist Harald Haas, who used LED (Light-emitting diode) lamp as a router in 2011. Harald got transfer speed approximately equal to 224 Gb/s. This speed gives users an opportunity to download different 'heavy' files such as movies or games, in a short period of time. This idea became possible due to technology with the name VLC (Visible Light Communication), which allows to light source not only give light but transfer information. Data transfer is realized by light-emitting diodes which flicker cannot be seen by people.

VLC technology is more environmentally friendly and safe because it does not produce harmful emissions unlike radio frequencies and it is also biological safe. More over VLC technology does not generate electromagnetic interferences which are created by radio frequencies systems. Therefore, it can be used in places, where radio frequency communication is forbidden.

To provide Li-Fi work the following hardware is necessary:

1. LED lighting system.
2. Router Installed with the lighting system.
3. A receiver that is equipped with a decoder to decrypt the light signal.

Li-Fi technology is designed in the way that LED lightbulbs can be used as wireless routers.

LED bulbs can be dimmed at extremely high speed, which cannot be saw by a human eye. Short impulses, that are created by fast dimming of LED lamps, are

converted by the "receiver" into an electrical signal. After that, the signal is converted back to a stream of binary data, which we receive in the form of web, video and audio files on our devices with Internet access.

Schematic representation of Li-Fi local network is shown in the figure 1.

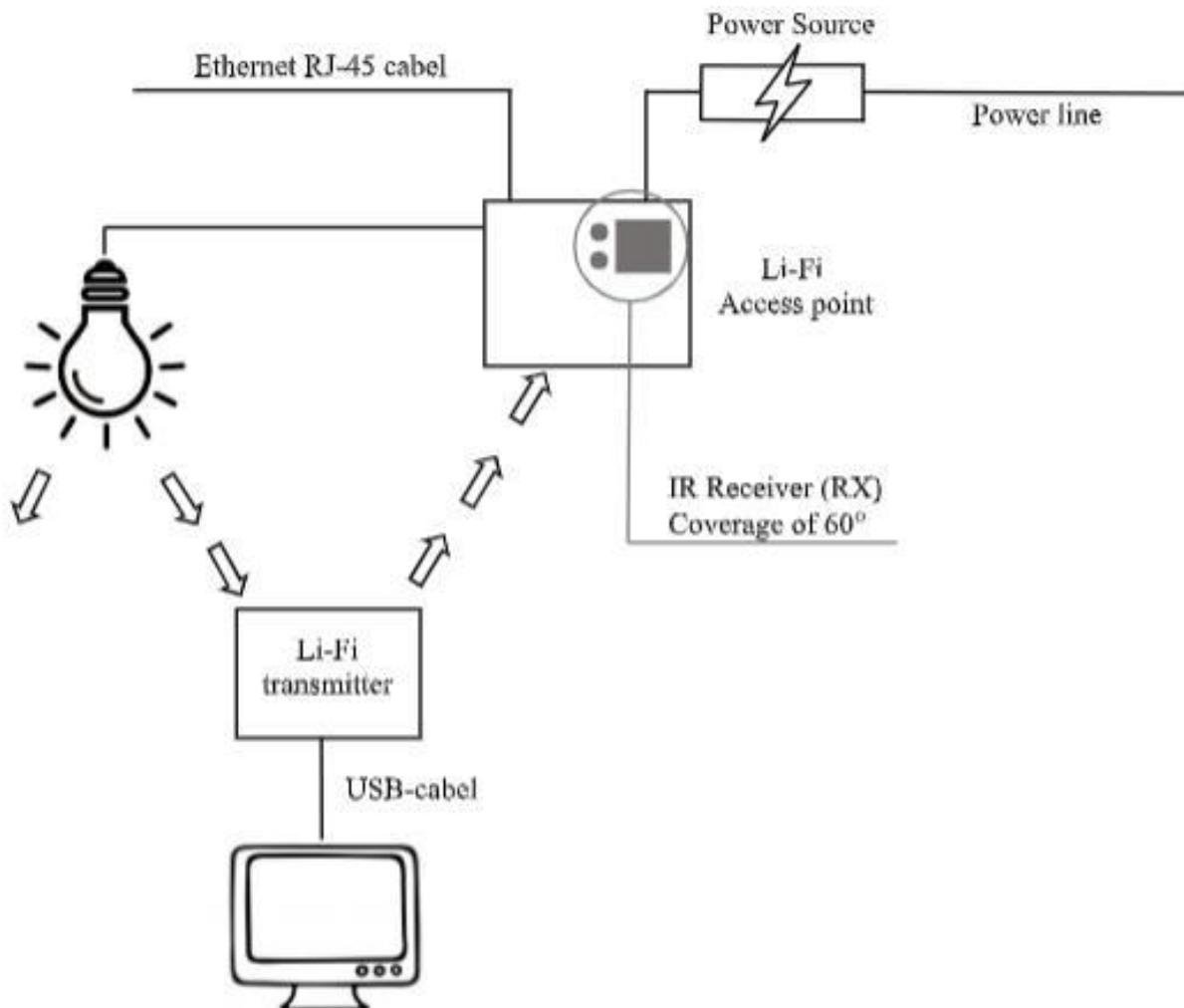


Fig. 1. Schematic representation of Li-Fi local network

Networks, which are using the Li-Fi, have a number of advantages. The most distinctive feature of Li-Fi is that, it does not interfere with radio signals. This fact puts Li-Fi in a more winning positions in terms of Internet speed stability. This is not taking into account the huge difference in speed of the two types of compared networks.

Li-Fi is more secure and provide additional confidentiality because light can be blocked by walls, therefore it can provide more secure data transfer. In the case of using Wi-Fi, network can be hacked, because it has more wide coverage and radio frequency signals cannot be blocked by walls.

However, despite all listed advantages, on practice several limitations are emphasize disadvantages of optical connection by means of this technology.

One of the difficulties of implementing Li-Fi is the need for separation of light streams. Devices have to distinguish between the transmitter signals and their own emitting, which is reflected from walls and other objects.

This problem is solvable (It is also peculiar to a radio signal), but it prevents to achieve maximum theoretical speed (several Tb/s).

The problem of outer light is more serious. In a room, LED bulbs usually give illumination of 50-500 lux (lux), whereas illumination on a cloudy day on the street is 1000 lux and at sunny midday - up to 100,000 lux. Passing through the windows, sunlight can completely drown out the Li-Fi signal in the room. You can cope with this problem by using jalousies and artificial lighting but it is impossible to organize Li-Fi communication outside.

Finally, difficulties of implementing Li-Fi are associated with the mobility of modern electronics. To maintain connection, devices should be in continuous visibility. Therefore, to implement connection it is necessary to rethink conception of artificial lighting i.e. to replace lusters and luminaires with dotty LED lights which are embed into walls and ceilings.

Thus, electronic devices can be linked with the help of VLC technology to implement the IoT concepts in smart houses and offices. Electronics, which are equipped with LEDs (Smartphones, tablets, laptops, PCs, TVs, cameras etc.) can be used in the capacity of connected devices and establish communication with one another by means of LED lighting.

Internal or home networks are available with the help of other wireless technologies such as Wi-Fi, 3g, Wimax etc. Li-Fi technology is used as a supplement to Wi-Fi and it can be implemented in the existing communication system with a little additional cost.

### **Conclusions**

Li-Fi is highly profitably to use in comparison to Wi-Fi, because it uses VLC technology, thanks to which we can use a maximum of 60 GHz.

On the one hand, Li-Fi has numerous advantages over others technologies, but on the other hand, it has several significant disadvantages.

Thus, because of these reasons, Li-Fi will not be able to completely replace others wireless communication systems, but it will complement Wi-Fi technology in cases where Wi-Fi communication is impossible or undesirable.

Therefore, wireless optical data networks, which are using LED visible light, are not able to displace radio frequency data networks from the market of information systems and technologies, but they are a harmonious addition, and sometimes a deserving alternative.

### **References**

1. Хаас Х. Беспроводная информация из каждой лампочки: пер. с англ. /Х.Хаас [Электронный ресурс]. – URL: [http:// www.ted.com/talks/harald\\_haas\\_wireless\\_data\\_from\\_every\\_light\\_bulb.htm](http://www.ted.com/talks/harald_haas_wireless_data_from_every_light_bulb.htm)

## **ВПЛИВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ РІШЕНЬ НА РІВНІ НЕБАЖАНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ У ЦИФРОВОМУ БУДИНКУ**

**Андрєєва О.В.**, доцент НТУ України «КПІ ім.І.Сікорського»,  
[elvian44@gmail.com](mailto:elvian44@gmail.com)

Концепція розвитку системи «Цифровий будинок» передбачає новий підхід стосовно поліпшення умов нашого існування на роботі та вдома. Це означає втілення у життя цілого комплексу інноваційних технічних рішень, що змінюють наше середовище в напрямку комфорту та безпеки. Єдина система автоматизованого керування дає можливість збільшити ефективність функціонування всіх систем життєзабезпечення цифрового будинку.

Втілювати у своє помешкання нові рішення і технології стає модним трендом, який підтверджує особливий статус будинку та його власника. Помешкання наповнюється модними рішеннями: розумні двері та вікна, розумне освітлення та опалення, цікаві smart-пристрої на кухні, пристрої для реалізації охоронних функцій.

Між іншим, доцільно розглянути і деякі наслідки втілення інтелектуальних рішень. Цілком зрозуміло, що постійний ріст числа інтелектуальних рішень у цифровому будинку обумовлює появу нових частотних діапазонів, змінюється структура сигналів (частота, амплітуда), а також змінюється їх сумарний вплив на мешканців будинку. При цьому розробники та продавці готових проектів цифрового будинку рекламують виключно переваги інтелектуальної системи комфорту і гарантують її безпеку у всіх аспектах. Але не все так просто.

Якщо у помешканні реалізовано провідний (дротовий) варіант інтерфейсних поєднань, то це може означати кілометри ліній зв'язку, які розміщені у стелі, стінах, під підлогою, а також у підвальних зонах. Всі лінії приховані, їх не видно, але від них йде випромінювання. Різноманітні електронні прилади та пристрої також щось випромінюють. До того ж у власному будинку в підвалі, як правило, розміщують власний генератор. Утворений частотний фон від роботи різних пристроїв цифрового будинку може бути досить складним і непередбаченим.

Безпроводний (бездротовий) варіант ліній зв'язку цифрового будинку, на перший погляд, є більш прийнятним з точки зору безпеки. Проводів мало (у більшості проектів безпроводний варіант зв'язку доповнює основний – провідний, тобто дротовий). Але навіть у цьому разі він не є цілком безпечним тому, що додаються радіохвилі різноманітних частот. Фахівці охорони здоров'я і в цьому варіанті углядають потенційну небезпеку для мешканців будинку. Це означає, що найбільш вагомим недоліком цифрового будинку слід вважати складний частотний фон, який дуже важко вимірювати і контролювати.

Слід враховувати, що на людину негативно впливає не сама частота, а потужність випромінювання. Існують показники медичних норм та рекомендації стосовно рівня електромагнітного забруднення приміщення. Потужність хвильових сигналів, що генеруються, залежить від сили струму і рівня напруги.

Зрозуміло, що потужність випромінювання зменшується, якщо відстань від джерела зростає. Висока потужність (густота) сигналів від підключених до мережі пристроїв, які працюють у спільному діапазоні, створює міжканальні та внутрішньоканальні частотні завади.

На Wi-Fi працюють багато пристроїв цифрового будинку, які підключаються до електромережі. Випромінювання від Wi-Fi-пристроїв на сьогодні досліджено недостатньо. Це стосується і роутерів, випромінювання від яких вважають небезпечним. Але це не завжди відповідає дійсності. Потужність випромінювання роутера частіше дорівнює потужності випромінювання мобільного телефону (складає приблизно 1Вт на частоті 0,9 ГГц). Між іншим з'ясовано, що значно більшу потужність випромінювання має власний генератор у підвалі та лінії ЛЕП за вікном, якщо відстань до них менш ніж 50 м (звичайні ЛЕП випромінюють хвилі 50 Гц). Більш негативний вплив має сотова вежа за вікном (більш негативний, ніж від СВЧ-пристроїв). Ще більшу загрозу здоров'ю людей несуть випромінюючі вишки новітніх технологій (Україна готується до прийняття стандарту 5G). Допустиме значення випромінювання від антен для України поки що дорівнює 2,5 мкВт/кв.см .

Максимальна потужність безпроводної точки доступу, яка працює на частоті 2,4 ГГц, не перевищує 100 мВт. Домашній безпроводний телефон, який працює на цій частоті, випромінює 0,5 ... 0,9 Вт. Можна вважати, що вплив випромінювання від роутера іноді суттєво нижчий, ніж у багатьох розповсюджених пристроях 3G.

Наукові розробки доводять, що дії деяких частот здатні змінити структуру складних органічних сполук. Такі частоти впливають на процеси інформаційного обміну в організмі людини, оскільки він являє собою складну біологічну інформаційну систему. Відомо, що органи людини (мозок, серце, нирки та ін.) мають власні частотні характеристики, тобто кожен з них має частоту власних коливань, наприклад: 700 – 800 Гц у серця; 600 – 700 Гц у нирок; 300 – 400 Гц у печінки.

Найбільш негативно на людину впливають деякі частоти нижнього діапазону 3 ... 50 Гц, які можуть співпадати з частотою головного мозку. Порушення обмінних процесів у клітинах пов'язано з проявом резонансної частоти, яка впливає на концентрацію іонів. Коливання часток організму під дією зовнішнього поля супроводжуються значною втратою енергетичних сил. Людина відчуває слабкість, сонливість. При цьому потерпають нервова та ендокринна системи.

Саме тому вибір інтелектуальних рішень для реалізації функцій цифрового будинку треба починати з ретельного аналізу сучасного інтелектуального обладнання з точки зору їх негативного впливу на організм людини.

Ключові слова: цифровий будинок, технології зв'язку.

## МЕТОД КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСУ МАГНІТНОГО ОСАДЖЕННЯ ФЕРОМАГНІТНИХ ДОМІШОК ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ

**Гарашенко О.В.**, к.т.н., Національний університ водного господарства та природокористування, [o.v.harashchenko@nuwm.edu.ua](mailto:o.v.harashchenko@nuwm.edu.ua)

**Гарашенко В.І.** к.т.н., Національний університ водного господарства та природокористування, [v.i.harashchenko@nuwm.edu.ua](mailto:v.i.harashchenko@nuwm.edu.ua)

В тепловій і атомній енергетиці використовують технологію магнітного очищення водних середовищ від феромагнітних домішок. Технологія дозволяє здійснювати процес очищення середовищ зі швидкістю до 300-500м/год і температурою до 500°C. Осадження феродомішок здійснюється під дією пондеромоторної сили

$$F_m = \mu_0 \chi_T \cdot W \cdot H_{grad} H, \quad (1)$$

$\mu_0$  - абсолютна магнітна проникність вакууму;  $\chi_T$  - магнітна сприйнятливність частинки;  $H$ -напруженість магнітного поля;  $W$ -об'єм феродомішки.

Процес магнітного очищення водних середовищ здійснюється в магнітних фільтрах, заповнених фільтр-матрицею. Контроль процесу магнітного осадження феродомішок традиційно здійснюється хімічним методом. Періодично визначають концентрацію заліза до магнітного фільтра ( $C_0$ ) і після фільтра ( $C$ ) і по відносній зміні  $\psi = \frac{(C_0 - C)}{C_0}$  визначають ефективність процесу

магнітного очищення водного середовища від залізовмісних домішок. Точно визначити час фільтроциклу, тобто той момент часу, коли необхідно виконувати регенерацію феромагнітної фільтр-матриці, складно. Це призводить до того, що фільтруюча матриця магнітного фільтра насичується забруднюючими домішками до критичної маси, що визначається періодом фільтроциклу, і в подальшому фільтр, працюючи в режимі очистки, швидко зменшує свою ефективність. Важливим параметром магнітних фільтрів є щільність ( $\Psi$ ) феромагнітної фільтр-матриці. Величина щільності  $\Psi$  може змінюватись в діапазоні (0,05-0,85), в залежності від виду фільтруючої матриці, співвідношення розмірів гранул матриці і розмірів корпусу фільтра. Від щільності ( $\Psi$ ) залежить величина силового фактора ( $H_{grad}H$ ) в об'ємі гранул фільтруючої матриці, що визначає ефективність процесу магнітної очистки.

Запропоновано здійснювати контроль процесу магнітного очищення і ефективність процесу частотно-магнітним методом. Відомо, що індуктивність зв'язана з частотою співвідношенням  $L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}$ , відповідно, частота

$f^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$ , де  $L, C$  – індуктивність та ємність вимірювального контуру. Перед завантаженням гранульованої матриці в корпус магнітного фільтра розраховують індуктивність соленоїдної намагнічуючої системи.

Величина індуктивності соленоїда при заповненні, наприклад, кульковою феромагнітною матрицею розраховується за співвідношенням

$$L = \frac{k\mu_0\mu\omega N^2 S}{[\omega + 0,15(1 - \omega)(\mu - 1)] l} \quad (2)$$

З (2) видно, що величина  $L$  в значній мірі залежить від  $\omega$ . Інші величини для соленоїда є незмінними. Змінюючи величину  $\omega$  і розраховуючи  $L$ , можна оцінити, в якому діапазоні може змінюватись величина  $L$ . Це дозволить вибрати вимірювальну систему, яка дозволить з максимальною точністю виконати вимірювання.

Запропонований метод контролю процесу магнітної очистки реалізується таким чином, що в місцях розміщення нижнього і верхнього шарів фільтр-матриці розташовані дві вимірювальні котушки 4 і 5 (давачі).

Перед початком процесу магнітного очищення вимірюють частоту  $f_{01}$  електричної котушки 4, розташованої на нижньому шарі фільтр-матриці, і частоту  $f_{02}$  верхньої котушки. Поступово, з часом, в процесі магнітного очищення змінюється частота нижньої електричної вимірювальної котушки 4, яку позначимо  $f_1$ , та частота верхньої котушки 5, яку позначимо, відповідно,  $f_2$ . Відношення  $f_{01}/f_1$  позначимо  $P_1$ , а відношення  $f_{02}/f_2$  -  $P_2$ . При магнітному очищенні середовища величина  $\varepsilon = (P_1 - P_2)/P_1$  буде змінюватись від максимального до певного мінімального значення і, відповідно, буде змінюватись величина  $\varepsilon$ , яка характеризує відносну зміну щільності домішок до фільтра і після фільтра. Настає такий момент часу, коли величина  $\varepsilon$  не збільшується. Це свідчить про те, що відбулось максимальне насичення феромагнітної фільтр-матриці домішками. Цей момент часу відповідає періоду фільтроциклу. В подальшому домішки середовища «транзитом» проходять об'єм намагніченої фільтр-матриці, не осаджуючись на її гранулах. Це означає, що необхідно регенерувати фільтр-матрицю.

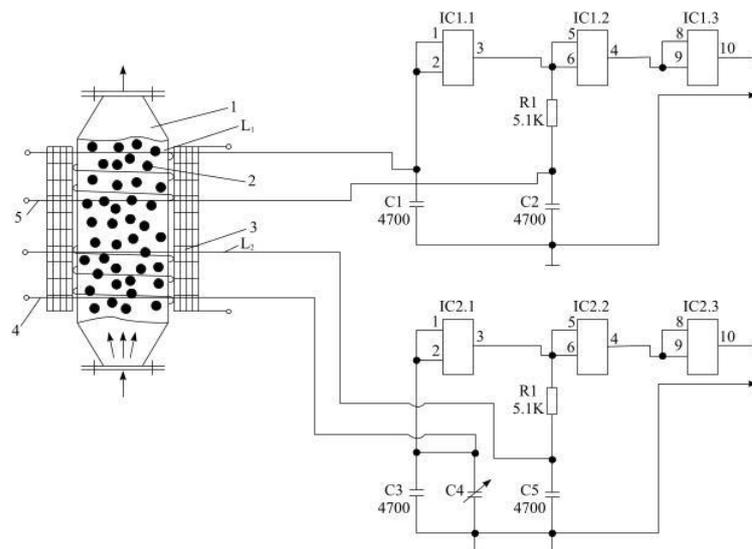


Рис.1 Магнітний фільтр з вимірювальною схемою що містить 2 датчі

Технологічні вимірювання здійснюються з використанням двох вимірювальних LC-генераторів, виконаних на мікросхемах IC1 і IC2 (K561ЛЕ5) (рис.1). Негативний зворотний зв'язок по постійному струму між виходом (вивід

3) і входом (виводи 1, 2) даних мікросхем здійснюється через резистори R1 і R2 відповідно, а також давачі котушки індуктивності L1 і L2. Параметри котушок L1 і L2, і відповідно резисторів R1 і R2 вибрані так, що елемент працює на лінійній ділянці передавальної характеристики мікросхем. Таким чином створюються умови для збудження каскаду на частоті, яка визначається параметрами елементів контуру L1C1C2 і L2C3C4C5. Частоту коливань другого генератора можна змінювати в невеликих межах конденсатором змінної ємності C4. Елементи мікросхеми IC1.3 і IC2.3 послаблюють шунтуючий вплив вхідного опору вимірювальних приладів на контури. В якості вимірювальних приладів можуть бути використані частотометри або реєстратори на мікроконтролерах.

Процес вимірювання здійснюється наступним чином: при проходженні забрудненої феромагнітними домішками технологічної води через давачі котушки L1 і L2 збільшується їх індуктивність, а тому частота коливань контурів L1C1C2 і L2C3C4C5 зменшується, що в свою чергу призводить до зменшення частоти роботи генераторів, і, відповідно, реєструється за допомогою вимірювальних приладів. На початку роботи фільтра виставляємо конденсатором C4 однакову початкову частоту генераторів. При максимальному насиченні домішками фільтр-матриці частоти генераторів зменшаться і зрівняються.

Контроль процесу магнітної очистки може бути також реалізований шляхом визначення відносної зміни частоти електричної вимірювальної котушки з середовищем, що очищується, до початку процесу очистки і після завершення процесу очистки. Для цього пробу середовища, наприклад, технологічної води, що очищується, взяту до очистки, розміщують в електричну вимірювальну котушку і вимірюють частоту цієї котушки. Потім таку ж за об'ємом пробу води після очистки розміщують в електричну вимірювальну котушку і вимірюють частоту. Оскільки, в одній пробі води до очистки буде підвищена концентрація феромагнітних домішок, а в другій пробі, після очистки, зменшена концентрація, то відносна зміна частоти електричної вимірювальної котушки з пробю води після  $f_2$  і до очистки  $f_1$  відповідає відносній зміні концентрації домішок, яка характеризує ефективність процесу магнітної очистки  $\varepsilon = (f_2 - f_1) / f_2$ .

Для визначення кількісної характеристики ефективності процесу магнітної очистки виконуються контрольні вимірювання концентрації феромагнітних домішок паралельно з вимірюванням частоти електричної котушки і будується залежність  $\varepsilon_x = (f_2' - f_1') / f_2' = \varphi(C_x)$ , де  $C_x$  – змінна концентрація феромагнітних домішок,  $f_2'$  – частота електричної вимірювальної котушки без проби води,  $f_1'$  – частота електричної вимірювальної котушки з пробю води, яка містить домішки. Використовуючи залежність  $\varepsilon_x = \varphi(C_x)$  розраховують ефективність процесу очистки.

## ПОБУДОВА АЛГОРИТМУ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ БЕЗПІЛОТНОГО ПОВІТРЯНОГО СУДНА З ВТРАТОЮ ВИСОТИ

Граф М.С., аспірант, НАУ, [graf.maryna@gmail.com](mailto:graf.maryna@gmail.com)

Для безпілотного повітряного судна (БПС) можна виділити ряд задач, пов'язаних з плануванням та реалізацією складних просторових задач. До таких задач відноситься задача побудови траєкторії руху БПС в тривимірному просторі та побудови траєкторії з врахуванням обходу перешкод.

Як правило, така задача вирішується в два етапи. На першому – формується набір точок у просторі, що задаються своїми координатами. Алгоритми рішення цього типу задач використовують алгоритми на графах [1,2], методи випадкових дерев та інші [3,4].

На другому етапі проводиться побудова параметричної кривої за сформованим набором точок в тривимірному просторі. Така крива і розглядається в якості траєкторії руху БПС.

При побудові потрібно враховувати обхід всіх точок в задані моменти часу.

Розглянемо побудову з використанням команд у середовищі MatLab. Для рішення будемо використовувати мультиротор.

Створюємо модель мультиротора та його структуру стану, задаємо розташування:

```
model = multirotor;
s = state(model);
s(1:3) = [3;2;1];
```

Вказуємо команду керування  $u$ :

```
u = control(model);
u.Roll = pi/12;
u.Thrust = 1;
```

Створюємо стандартне середовище без вітру:

```
e = environment(model);
```

Створюємо похідну часу стану, з врахуванням поточного стану:

```
sdot = derivative(model,s,u,e);
```

Моделювання стану БПС:

```
simOut = ode45(@(~,x)derivative(model,x,u,e), [0 3], s);
size(simOut.y)
```

Побудуємо зміну в положеннях  $Y$  та  $Z$ , з заданими кутом обертання, мультиротор повинен пролетіти та втратити деяку висоту (рис.1).

```
figure
plot(simOut.y(2,:));
hold on
plot(simOut.y(3,:));
legend('Y-position','Z-position')
hold off
```

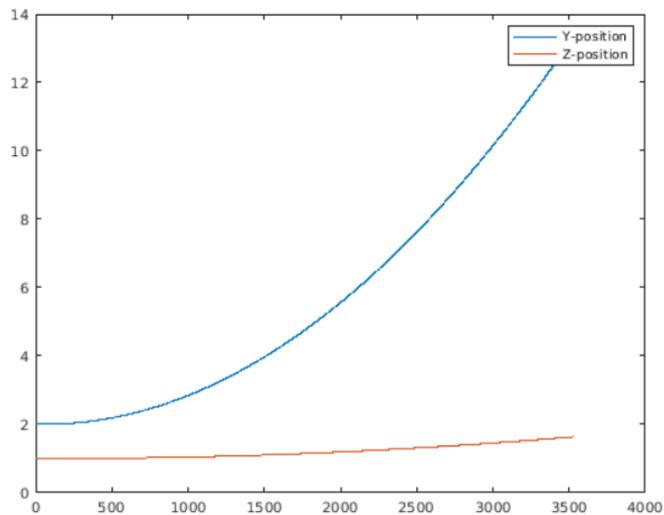


Рис.1. Зміна позицій  $Y$  та  $Z$  при польоті БПС

Зміну куту обертання  $X$  (кут Ейлера) показано на рис.2.

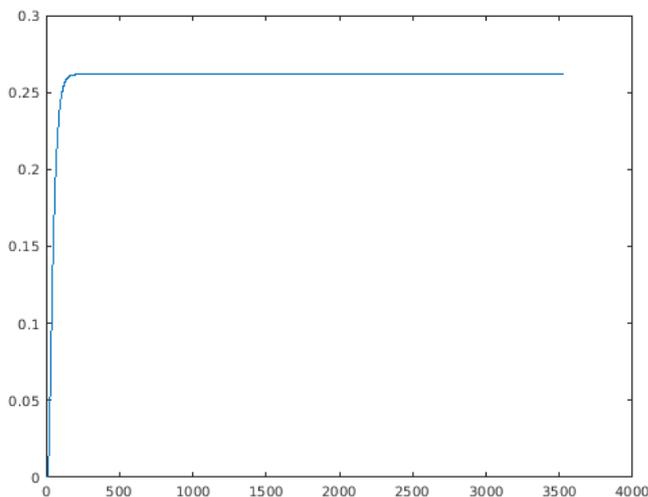


Рис.2. Зміна кута обертання при польоті БПС

Побудуємо також траєкторію руху з використанням *plotTransforms*. Створюємо вектори переміщення та обертання зі стану, що моделюється. Дискретизуємо (кожен 300-й елемент) та транспонуємо елементи *simOut* та перетворюємо кути Ейлера в кватерніони. Задаємо *mesh* як файл *multirotor.stl* та додатне  $Z$ -направлення як «down». Відображення представлення показує переміщення БПС в напрямленні  $Y$  та втрату висоти.

```
translations = simOut.y(1:3,1:300:end)'; % xyz position
rotations = eul2quat(simOut.y(7:9,1:300:end)'); % ZYX Euler
plotTransforms(translations,rotations,...
    'MeshFilePath','multirotor.stl','InertialZDirection',"down")
view([90.00 -0.60])
```

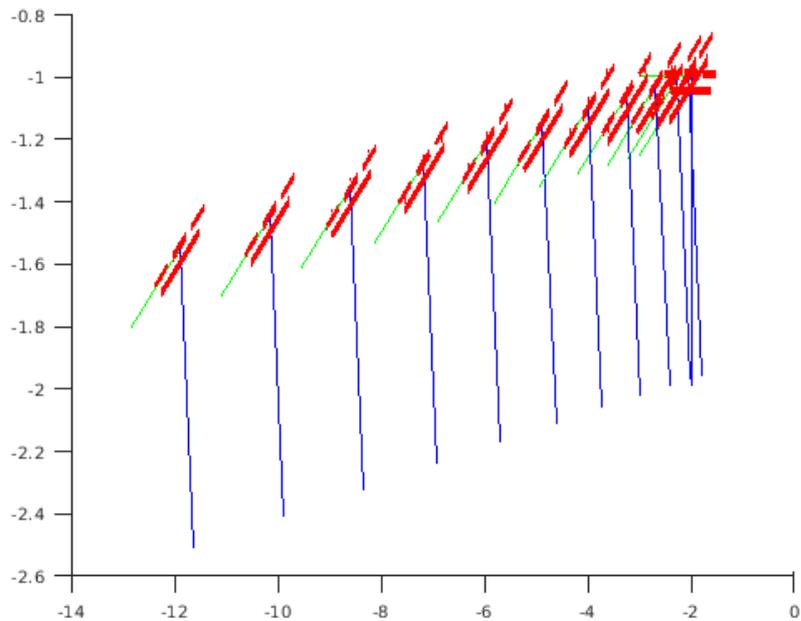


Рис. 3. Побудова траєкторії БПС з втратою висоти

В роботі на прикладі показано моделювання та зміну стану БПС за допомогою введення певних команд.

З розвитком задачі планується побудова фрагментів траєкторії за певними точками та розглянуто випадок, коли задані не всі граничні умови. Для рішення буде використовуватися добування невистачаючих умов на основі потрібної поведінки БПС, планується розглянути параметричну траєкторію, що задає розворот.

В роботі розглянуто метод та алгоритм побудови траєкторії БПС, показано моделювання та зміна стану за допомогою введення команд, розглянуто побудову траєкторії з стратою висоти. Для побудови використано модель мультиротора та середовище MatLab.

### Література

1. Yakovlev K.S., Baskin E.S. Graph models for solving 2D path finding problems. *Iskusstvennyi intellekt i prinyatie reshenii = Artificial intelligence and decision making*, 2013, no. 1, pp. 5-12. (in Russian).
2. De Luca F., Guglieri G. Advanced Graph Search Algorithms for Path Planning of Flight Vehicles. In: Agarwal R., ed. *Recent Advances in Aircraft Technology*. InTech, 2012, pp. 157-192. DOI: 10.5772/37033
3. LaValle S.M. Motion Planning. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2011, vol. 18, no. 1, pp. 79-89. DOI: 10.1109/MRA.2011.940276
4. Lee D., Shim D.H. RRT-Based Path Planning for Fixed-Wing UAVs with Arrival Time and Approach Direction Constraints. *Proc. of 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Orlando, FL, USA, May 27-30, 2014, pp. 317-328.

## ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОНТУРУ РЕГУЛЮВАННЯ «РІВЕНЬ – КОНЦЕНТРАЦІЯ» ПРИ ОЧИЩЕННІ ГАЗОВОГО КОНДЕНСАТУ ВИРОБНИЦТВА АМІАКУ

Данченков Я.В., к.т.н., Національний університет водного господарства та природокористування, [danchenkov48@gmail.com](mailto:danchenkov48@gmail.com)

Газовий конденсат використовується в суміші з глибоко знесоленою водою та хімічно очищеною в якості живильної води, яка використовується дуже широко для живлення котлів – утилізаторів. Тому постає задача покращення керування та спрощення в експлуатації технологічного процесу, оскільки основним завданням його є забезпечення значення концентрації компонентів на мінімально можливому для установки рівні. В зв'язку з цим пропонується побудувати математичну модель контуру “рівень – концентрація”, як одного з основних контурів регулювання та дослідити перехідні процеси в ньому. Очищення конденсату від аміаку та інших летких домішок відбувається в апараті колонного типу з насадкою із кілець Паля.

Оскільки процес очистки газового конденсату досить складний і багатостадійний процес, то для досліджування вибрали один процес це процес випаровування. Для аналізу розглянули типовий технологічний процес випарювання [1]. На основі матеріального та теплового балансів технологічного процесу, а також розглянутого схематичного рисунку колони (рис.1), на якому позначені всі параметри, що необхідні, була складена система рівнянь для дослідження двох контурів регулювання рівня газового конденсату та концентрації аміаку в газовому конденсаті.

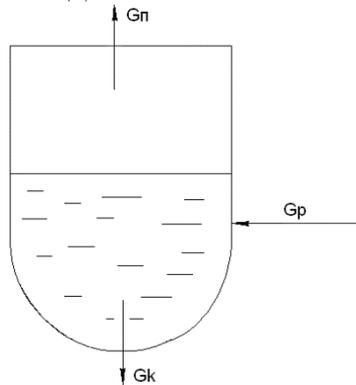


Рис. 1. Схематичний рисунок випарного апарату

$G_n$  – витрата парів розчинника;  $G_p$  – витрата газового конденсату в апарат;  $G_k$  – витрата очищеного конденсату.

Оскільки  $G_n$  - є залежністю  $(G_p - G_k)$ , а також є функцією від температури  $dG_n=f(T)$  то з рівнянь матеріального та теплового балансів технологічного процесу [1], складаємо систему рівнянь системи регулювання рівня і концентрації в апараті:

$$\begin{cases} \rho_k \cdot S_{\text{аі}} \cdot \frac{dh_k}{dt} = G_p - G_k - G_i \\ G_i = (G_\delta - G_k) \\ dG_i = f(T) \\ \rho_k \cdot S_{\text{аі}} \cdot h_k \cdot \frac{dc_k}{dt} = G_\delta \cdot c_p - G_k \cdot c_k \end{cases} \quad (1)$$

де,  $\rho_k$  – густина концентрованого розчину;  $S_{\text{аі}}$  – площа апарату;  $h_k$  – рівень концентрованого розчину в апараті;  $G_p$  – витрата вихідного розчину;  $G_k$  – витрата концентрованого розчину;  $G_\delta$  – витрати парів розчинника;  $c_k$  – концентрація концентрованого розчину;  $c_p$  – концентрація вихідного розчину.

На основі математичної моделі (1), було проведено дослідження системи регулювання рівня і концентрації аміаку в газовому конденсаті за допомогою пакету програм Simulink Matlab [2] і отримали перехідні характеристики зображені на рис.2..

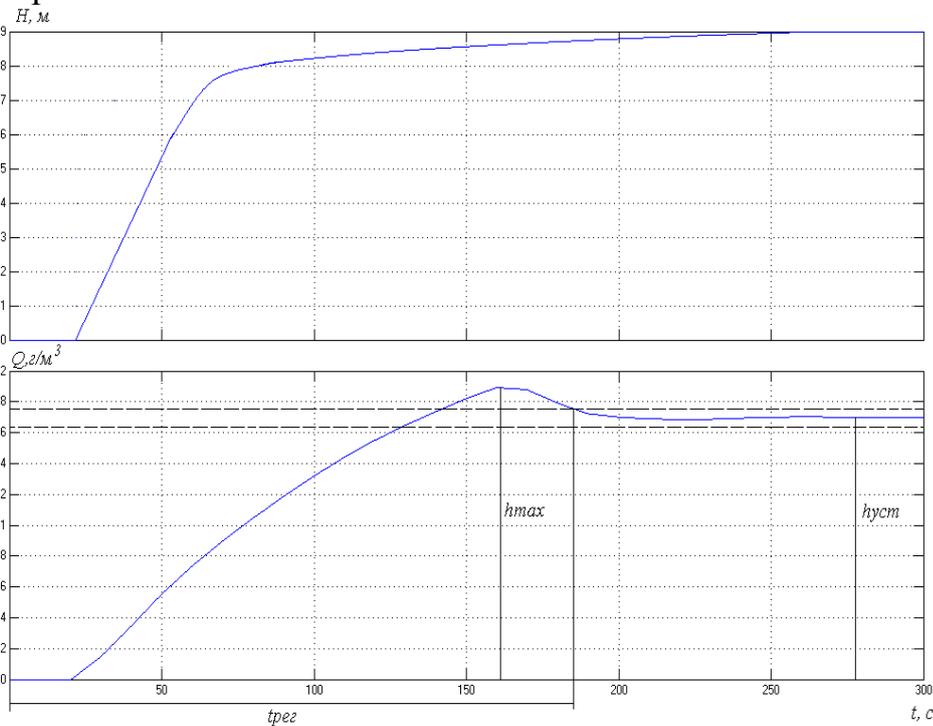


Рис. 2. Змодельовані перехідні характеристики

## Література

1. Иванова Г.В. Автоматизация технологических процессов основных химических производств – Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), 2003. – ч.1.
2. Черных И.В. SIMULINK среда создания инженерных приложений / Под общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. – М.: Диалог – МИФИ, 2003.-496с.

**СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ СПІВВІДНОШЕННЯ  
ГАЗ-ПОВІТРЯ У КОТЛОАГРЕГАТАХ ВОДОГРІЙНОГО ТИПУ ПО  
ЙОГО ККД**

**Данченков Я.В.**, к.т.н., доцент

**Тарас Б.І.**, ст.викл.

**Лещук Д.О.**, магістрант.

Національний університет водного господарства та природокористування,  
[danchenkov48@gmail.com](mailto:danchenkov48@gmail.com)

Природний газ є одним з найпоширеніших видів палива для водогрійних котлів, які використовуються на підприємствах комунальної галузі при централізованому теплопостачанні та підігріві гарячої води.

Більшість існуючих на сьогоднішній день систем автоматичного регулювання (САР) співвідношення газ-повітря працюють наступним чином. Для оцінки ефективності процесу згорання газового палива, в газовому тракті котла встановлюють газоаналізатор складу відхідних газів. Наявність чадного газу (СО) у відхідних газах свідчить про неповноту згорання (нестача повітря), а наявність кисню (О<sub>2</sub>) – про надлишок повітря, що надходить на пальники котла. Для цього, під час налагоджувальних робіт САР співвідношення газ-повітря, вимірюють вміст кисню і чадного газу для різних навантажень котла (наприклад 25%, 50%, 75%, 100% від номінальної потужності) і по результатах цих вимірювань, встановлюють оптимальні співвідношення газ-повітря. Показником ефективності налаштувань є мінімальна концентрація кисню та відсутність чадного газу у відхідних газах. Далі, шляхом інтерполювання, знаходять значення оптимальних співвідношень для проміжних навантажень котла в усьому можливому діапазоні його роботи.

До недоліків такого підходу до регулювання співвідношення газ-повітря варто віднести:

1. Даний метод потребує налагодження кожного котлоагрегату (зазвичай щоразу перед початком опалювального сезону).

2. Налагодження САР здійснюється при певному складі природного газу, і у випадку зміни його хімічного складу, встановлені налаштування перестають бути оптимальними.

3. Якість налаштування САР залежить від кваліфікації людини, що виконує налагоджувальні роботи, а також обладнання на якому здійснюється вимірювання складу відхідних газів.

4. Існує похибка налаштувань в проміжних точках, пов'язана з методикою їх інтерполяції.

5. Потреба в періодичному повторному налагодженні САР, у зв'язку із зношуванням та старінням деталей котлоагрегату, утворенням нагару на пальниках, відкладанням сажі у газових трактах, погіршенням теплопровідності поверхонь нагрівання та ін.

В даній статті пропонується САР співвідношення газ-повітря за критерієм коефіцієнту корисної дії (ККД) – його максимуму (екстремуму). Система екстремального керування являє собою самоналагоджувальну систему автоматичного регулювання, в якій підлаштування параметрів регулятора здійснюється по екстремуму (максимуму або мінімуму) певного показника якості роботи системи в процесі експлуатації. Для даної системи автоматичного регулювання показником якості буде ККД котлоагрегату  $\eta_k$ , як функція від коефіцієнту надлишку повітря  $\alpha$ , який характеризує співвідношення газ-повітря [1].

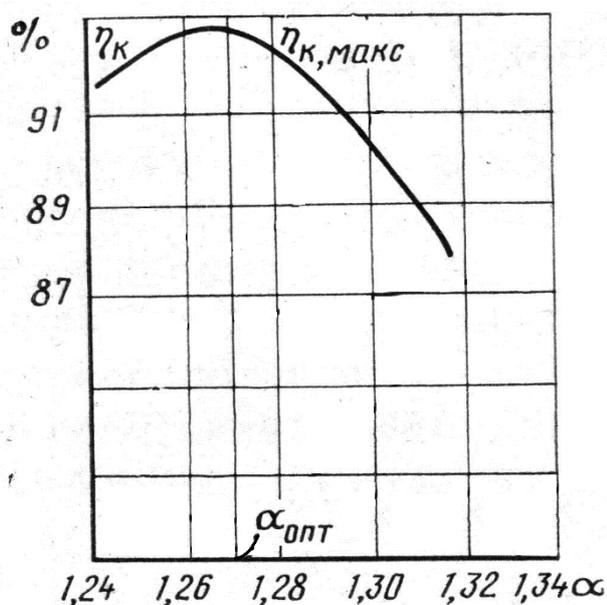


Рис.1. Графік залежності ККД водогрійного котлоагрегату від коефіцієнту надлишку повітря  $\alpha$ .

Використання екстремального регулятора є доцільним лише тоді, коли екстремум, (в нашому випадку ККД котла), є чітко вираженим на кривій показника якості від керуючого впливу. Як бачимо з рис.1., саме такий явно виражений максимум має місце при регулюванні співвідношення газ-повітря по критерію ККД котла.

Запропонований у даній статті спосіб регулювання здійснюється шляхом обчислення ККД котлоагрегату як відношення корисної потужності  $P_{кор}$ , що передається теплоносію до теоретично доступної потужності  $P_{дост}$ , яку можна отримати при повному згоранні газового палива, що надходить в котел:

$$\eta_k = \frac{P_{кор}}{P_{дост}} \quad (1)$$

Вимірювання ККД котла здійснюється за допомогою датчиків витрат природного газу FE1-1 і теплоносія FE2-1, що встановлені у газопроводі перед пальником та трубопроводі подачі теплоносія відповідно; а також датчиків температури, встановлених на прямому (TE2-2) та зворотному (TE2-3) трубопроводах котла. Сигнали з датчиків надходять на обчислюючий пристрій QE3-1, який обчислює відношення корисної потужності до доступної  $P_{кор}/P_{дост}$  (рис.2).

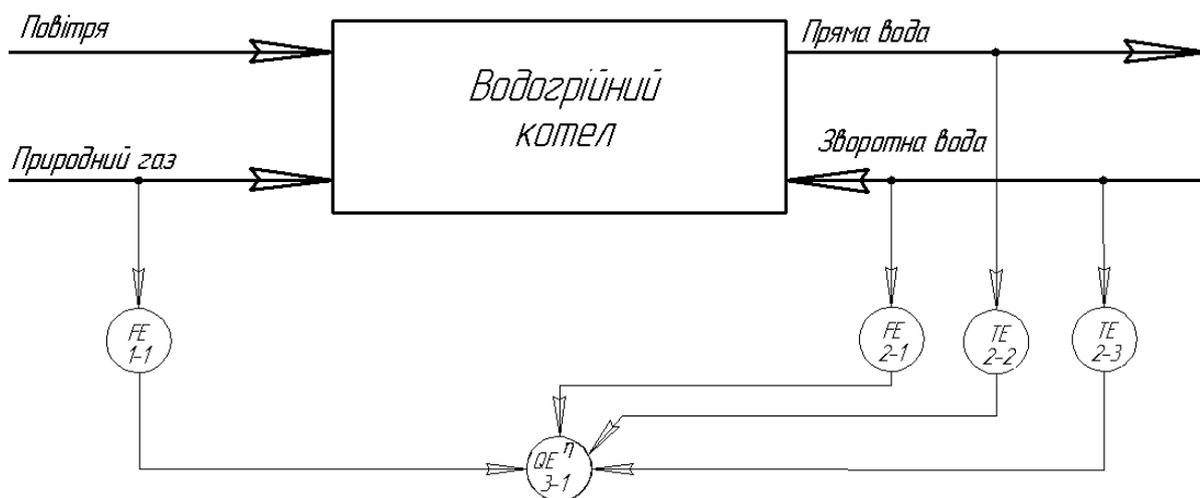


Рис.2. Функціональна схема вимірювання ККД котлоагрегату водогрійного типу на газовому паливі.

Далі коригуючий сигнал з обчислювача надходить на задавач співвідношення газ-повітря блоку управління, який керує електродвигунами димососа і (або) вентилятора, змінюючи витрату повітря, що надходить в топку котла, внаслідок чого змінюється співвідношення газ-повітря. При цьому задавач співвідношення працює як система екстремального керування, яка являє собою самоналагоджувальну систему автоматичного регулювання, в якій здійснюється коригування завдання регулятора – поточне значення коефіцієнту надлишку повітря  $\alpha$  по екстремуму (максимуму) ККД водогрійного котлоагрегату  $\eta_k$ .

$$\eta_k = f(\alpha) \rightarrow \max \quad (2)$$

Сучасний розвиток мікропроцесорних засобів автоматизації дозволяє реалізувати запропоновану систему екстремального регулювання співвідношенням газ-повітря. Технічна реалізація самого екстремального регулятора може бути різною, але при цьому система автоматичного керування буде вимірювати і розраховувати ККД котлоагрегату для поточного значення коефіцієнту надлишку повітря  $\alpha$  безпосередньо в процесі роботи котлоагрегату та коригувати співвідношення газ-повітря, досягаючи його максимального значення - екстремуму.

Застосування такої системи керування, дозволить позбутися всіх вищезгаданих недоліків, які притаманні існуючим системам регулювання по складу відхідних газів.

### Література

1. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. М.: "Энергоатомиздат", 1981. – 368с.
2. Jonathan Love. Process automation handbook: a guide to theory and practice. – Springer, 2007.

## ЗБІЛЬШЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КАНАЛА ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ МЕТОДОМ БАГАТОПОТОЧНОГО ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

Єгоров С.В., к.т.н., НАУ, [sehorov@gmail.com](mailto:sehorov@gmail.com)  
Шкварницька Т.Ю., к.т.н., НАУ, [tskvarnitska@ukr.net](mailto:tskvarnitska@ukr.net)

При розв'язку питання безпеки під час передачі даних по каналу зв'язку, виникає проблема забезпечення скритності переданих даних по каналу зв'язку. Розв'язком цієї проблеми може бути, передача інформації декількома потоками одночасно.

Технології частотного поділу каналів (Frequency Division Multiplexing FDM) [1-4] дозволяють передавати кілька інформаційних сигналів одночасно по одному каналу зв'язку. FDM виділяє кожному інформаційному сигналу певну частотну область усередині каналу зв'язку. Ці частотні області вибираються так, щоб вони не перекривалися. Рис. 1 ілюструє передачу двох інформаційних сигналів, використовуючи FDM.

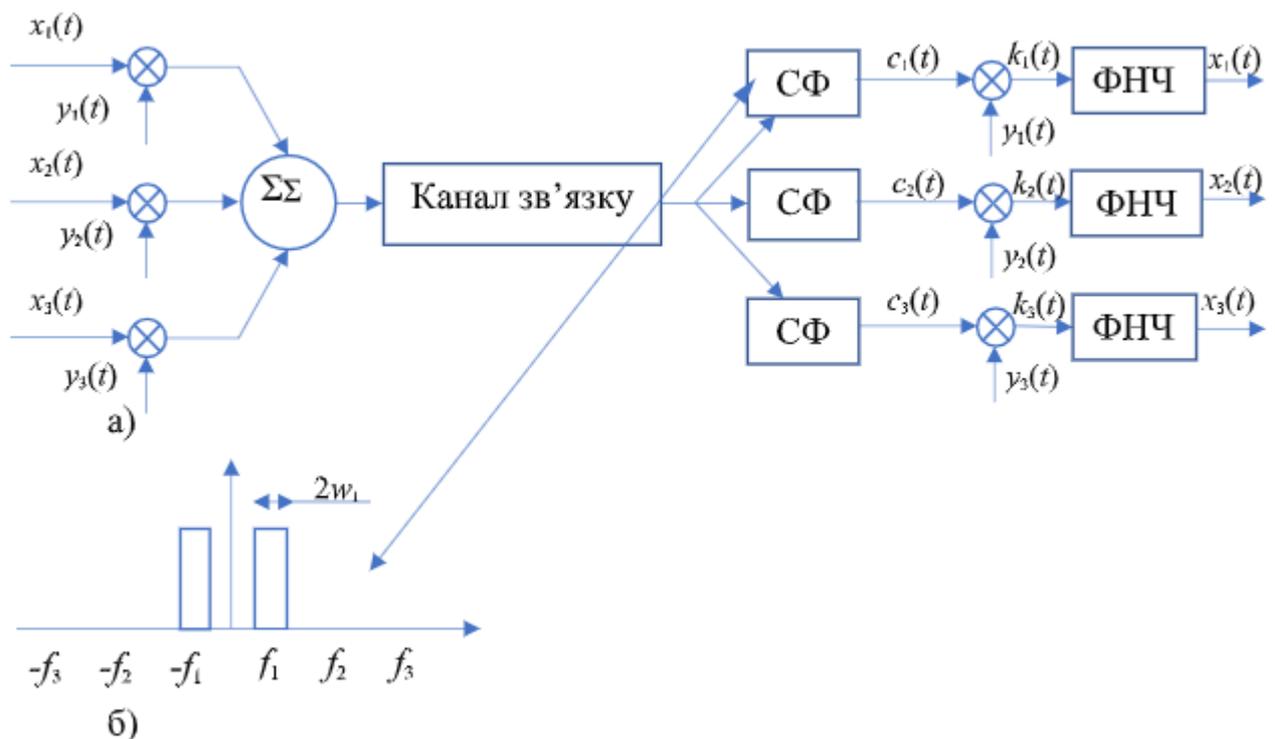


Рис. 1. Принцип частотного поділу каналів

На рис. 1а маємо три інформаційні сигнали:  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$ ,  $x_3(t)$  довільної форми й шириною спектра  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  відповідно.

Щоб передати по каналу зв'язку ці три сигнали, потрібно модулювати ними несучі  $y_1(t)$ ,  $y_2(t)$ ,  $y_3(t)$ , що перебувають на досить великій відстані один від одного, так, щоб спектри отриманих у результаті радіосигналів не перекривалися. Таким чином, на частоту  $f_1$  переноситься інформаційний сигнал  $x_1(t)$ , а на частоту  $f_2$  переноситься інформаційний сигнал  $x_2(t)$  і т.д. Складаючи

отримані радіосигнали в суматорі, одержуємо сумарний сигнал передачі, який може переносити спектри трьох сигналів одночасно по каналу зв'язку.

На приймальному кінці каналу зв'язку сумарний сигнал передачі піддається обробці, яка включає усунення небажаних спектральних компонентів із прийнятого сигналу й демодуляцію, виділяючи вихідні спектральні компоненти шириною  $w_1, w_2, w_3$ . На рис. 1б показано, що потрібно зробити, щоб виділити сигнал  $c_1(t)$ .

Сигнал передачі модулюється так, що спектральні компоненти розташовуються в околиці центральної частоти смугового проникного фільтра. У цьому випадку спектр сигналу  $c_1(t)$  зсувається так, щоб він розмістився симетрично на частоті  $f_1$ .

Смуговий фільтр (СФ) пропускає з малим затуханням тільки спектральні компоненти інформаційного сигналу  $c_1(t)$  і усуває спектральні компоненти інших інформаційних сигналів спектра.

Далі,  $c_1(t)$  демодулюється до вихідного спектру й фільтр низьких частот (ФНЧ) усуває усі більш високі частоти, які з'являються в результаті демодуляції (це частоти  $-2f_1$  і  $2f_1$ ). У результаті виходить інформаційний сигнал  $x_1(t)$ .

Ця ж процедура використовується для виділення інформаційних сигналів  $x_2(t), x_3(t)$ .

Таким чином, ключову роль у прийманні інформаційного сигналу й виділення його із сигналу передачі при FDM - це виділення модульованих частот у приймачі, який центрує спектр інформаційного сигналу в смузі робочих частот смугового фільтра.

Таким чином, модуляція, демодуляція й фільтрація становлять суть частотного поділу каналів, що дозволяє суттєво підвищити пропускну здатність каналу зв'язку.

### Література

1. YG Li. Orthogonal frequency division multiplexing for wireless communications / YG Li – GL Stuber, 2006. – 305 P.

2. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра / пер. с англ.; под ред. В. И. Ж уравлева. М. :Радио и связь, 2000. – 520 с.

3. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь : учеб. пособие для вузов. / В.А. Галкин. М. : Горячая линия-Телеком, 2007. – 432 с.

4. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.

## ПЕРЕХІДНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ДЛЯ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН

**Клепач М.М.**, к.т.н., доц., Національний університет водного господарства та природокористування, [m.m.klepach@nuwm.edu.ua](mailto:m.m.klepach@nuwm.edu.ua)

Сучасні КВМ, в більшості випадків, побудовані на основі роботизованих маніпуляторів[1], що переміщують вимірювальну головку відносно досліджуваної деталі та є складними апаратно-програмними комплексами з підвищеними вимогами щодо точності та швидкості позиціонування.

Виготовлення апаратної складової потребує значних ресурсів. Крім того, системи керування такими пристроями є досить складними, і часто містять інтелектуальні складові.

Отже, існує необхідність розробки моделей маніпуляторів для попереднього аналізу їх властивостей, розробки та тестування систем керування ними.

При розробці моделі маніпулятора паралельної структури[2] для КВМ (рис.1) нами використано комплекс прикладного програмного забезпечення Matlab, зокрема пакет Simscape Multibody, що є частиною середовища моделювання Simulink. Це дає нам можливість реалізації фізичної моделі маніпулятора з урахуванням не лише геометричних розмірів її складових, але й інерційності системи, сили тяжіння, а також сил тертя між її складовими, тощо.

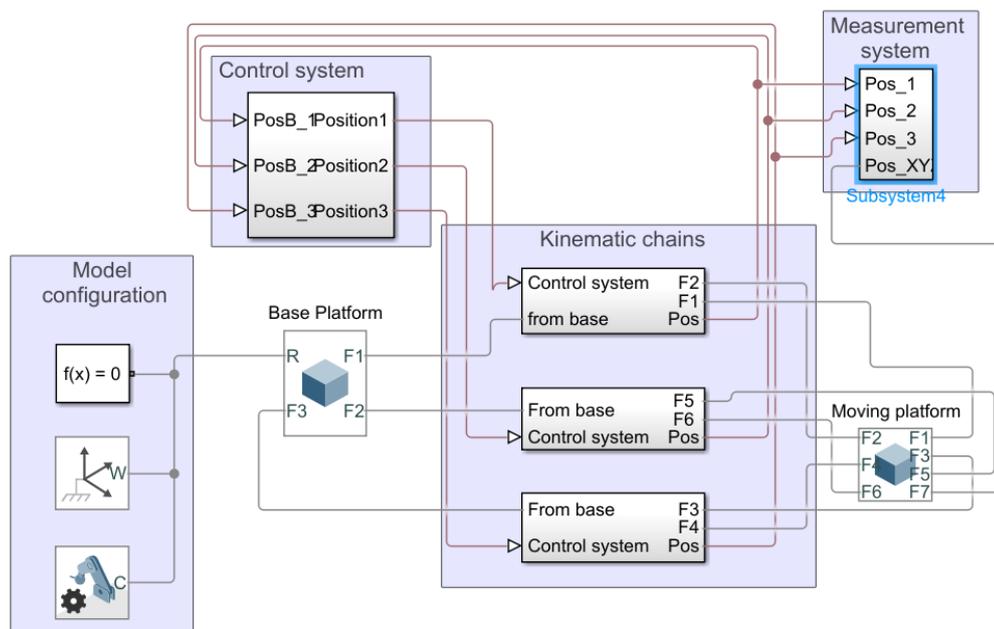


Рис. 1 Модель маніпулятора паралельної структури для координатно-вимірювальних машин у середовищі Simulink

Основою створення моделі є її конфігурація (Model configuration) з точкою відліку початкових координат, конфігурування механізму та налаштувань

параметрів моделювання. Нерухома платформа (Base Platform) трикутної форми, як початкова ланка, сполучена з конфігурацією моделі, а її порти F1, F2, F3, що є вершинами трикутної нерухомої основи з'єднуються з підсистемами кінематичних ланцюгів (Kinematic chains), через які приводиться в дію рухома платформа (Moving platform).

Одну із підсистем кінематичних ланцюгів зображено на рис. 2

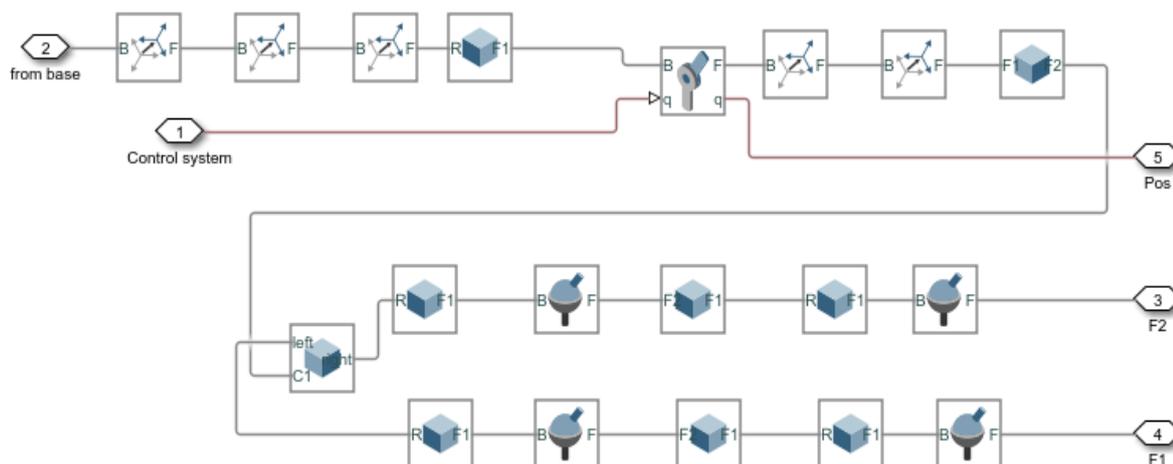


Рис 2. Підсистема реалізації кінематичного ланцюга у Simulink

Підсистеми кінематичних ланцюгів є ідентичними між собою, однак зміщені у просторі за допомогою відповідних блоків зсуву координат елементів моделі, а також включають комбіновані блоки графічних примітивів з фізичними властивостями. У відповідності до кінематики ланцюгів використовуються блоки шарнірних з'єднань з відповідними ступенями вільності та обмеженнями. Порти F1...F6 підключено до блоку реалізації функцій рухомої платформи. Через порти Pos передається поточний сигнал про поточний стан кута повороту приводного шарніру відносно нерухомої платформи до вимірювальної підсистеми, а також служить зворотним зв'язком для підсистеми керування рухом. Сигнал від системи керування рухом подається на шарнір з приводом через порт Control system.

Підсистема керування рухом (Control system) реалізована на базі трьох ПІД-регуляторів з передаточними функціями приводів, а також містять блоки завдання та суматори для визначення розузгодження сигналу зворотного зв'язку та завдання. Враховуючи те, що кінематичні ланцюги є ідентичними між собою, ПІД-регулятори містять однакові налаштування. Оптимізація регуляторів проводилася за допомогою вбудованих функцій блоків, що їх реалізують.

Перехідні характеристики оптимізованої підсистеми системи керування

рухом зображено на рис. 3.

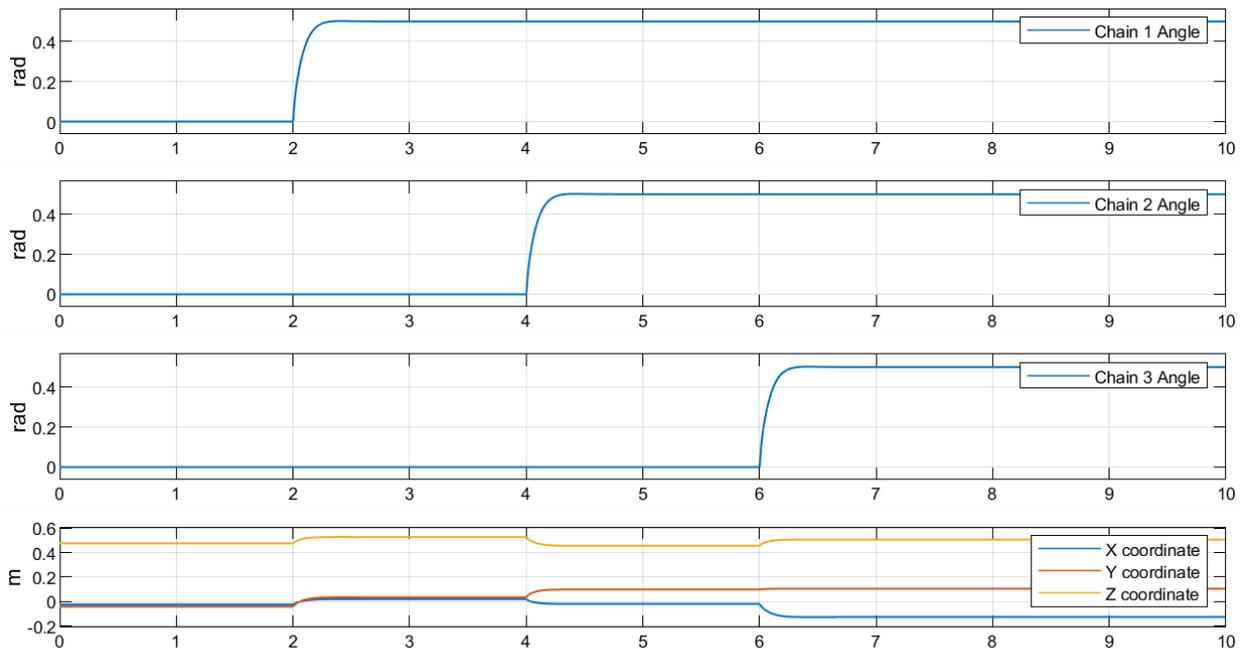


Рис. 3 Перехідні характеристики оптимізованої САК рухом маніпулятора паралельної структури

Під час моделювання на систему автоматизованого керування подавалося збурення у вигляді стрибкоподібної зміни завдання кута повороту привода кінематичного ланцюга з інтервалом 2с. В результаті отримано перехідні характеристики зміни кутів повороту приводних шарнірів в часі (Chain 1...3 Angle), а також абсолютні координати центру рухомої платформи відносно центру основи (X,Y,Z coordinate), що були зафіксовані за допомогою підсистеми Measurement system. З рисунка видно, що процес є стійким, без перерегулювань, а час перехідного процесу не перевищує 0,3с, а отже, може бути використана для управління подібними пристроями.

Таким чином, розроблена модель в подальшому може бути адаптована до маніпуляторів на основі механізмів з паралельною структурою різної маси, лінійних розмірів, приводів, тощо. Розроблена система автоматичного керування рухом маніпулятора паралельної структури задовольняє вимогам якості регулювання, тому в подальшому може бути використана при розробці дослідного зразка такого пристрою.

### Література

1. John A. Bosch Coordinate measuring machines and systems / John A. Bosch. США: M. Dekker, 1995. - 444 с.
2. Hamid D Taghirad. Parallel robots : mechanics and control. CRC Press, 2013

## РОЗРАХУНОК ДЕТАЛЕЙ НА МІЦНІСТЬ ТА ТЕПЛОВИЙ АНАЛІЗ МЕТОДАМИ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ В MATLAB

**Коваленко О.О.**, к.т.н., доцент

**Васильченко В.Ю.**, ст.викл.

**Скоромний В.І.**, студент

Черкаський державний технологічний університет, [a.kovalenko@2upost.com](mailto:a.kovalenko@2upost.com)

У доповіді розглядається використання інструменту Partial Differential Equation (PDE) Toolbox системи MATLAB для вирішення при проектуванні задач структурної механіки, теплообміну і загальних рівнянь в частинних похідних з використанням аналізу за методом кінцевих елементів, що виконуються студентами в межах курсу «Основи комп'ютерних технологій проектування у машинобудуванні».

PDE Toolbox [1] надає можливості лінійного статичного аналізу для обчислення деформації, напруги і розтягування, моделювання структурної динаміки і вібрації, дослідження структурних характеристик компонента за допомогою модального аналізу для знаходження власних частот і форм мод, моделювання задач теплопередачі для розрахунку розподілу температури, теплових потоків і швидкостей теплового потоку через поверхні. За допомогою PDE Toolbox розв'язуються як стандартні рівняння дифузії, електростатики і магнітостатики, так і нестандартні рівняння в частинних похідних створені проектувальником для конкретних умов і задач.

Методика вирішення таких задач демонструється в роботі на прикладі розрахунку на міцність кронштейну та виконанні теплового аналізу трубопроводу з термоізоляцією. Геометрія деталей може бути як імпортована у вигляді STL-файлів з CAD систем (що було зроблено для кронштейну), так і створюватись вбудованими засобами PDE Toolbox (що було зроблено для трубопроводу). Проектувальнику доступна автоматична генерація сіток з трикутними і тетраедричними елементами з адаптацією до елементів геометрії. Після розв'язку автоматизовано сформованої системи рівнянь MATLAB надає надзвичайно широкі можливості для візуалізації та дослідження результатів, знаходження оптимального проектного рішення.

Розрахунки починаються зі створення за допомогою функції **createpde** пустої структури задачі:

model = createpde('thermal') – задача теплообміну,

model = createpde('structural','static-solid') – структурної механіки.

model =

ThermalModel with properties:

AnalysisType: 'steadystate'

Geometry: []

MaterialProperties: []

HeatSources: []

StefanBoltzmannConstant: []

BoundaryConditions: []

model =

StructuralModel with properties:

AnalysisType: 'static-solid'

Geometry: []

MaterialProperties: []

BodyLoads: []

BoundaryConditions: []

Mesh: []

InitialConditions: []

Mesh: []

Далі на наступних етапах за допомогою відповідних функцій структури наповнюються інформацією про геометрію деталі, властивості матеріалу, граничні умови – навантаження, температури, теплові потоки, різноманітні коефіцієнти, потрібні для розрахунків, місця закріплення тощо.

Імпортувати геометрію з 3D моделі (рис.1,а), побудованої в графічному редакторі і збереженої в STL-форматі можна наступною функцією `importGeometry(model,'D:\MATLAB2018a\pdestress\BracketWithHole.stl')`;

Для створення геометрії безпосередньо в MATLAB також є ряд функцій. Так фрагмент трубопроводу довжиною 50 см прямокутного профілю з внутрішніми розмірами 40x20 см, товщиною стінки 1 см та теплоізоляцією 4 см (рис.1,б) використовуємо наступну функцію `geo = multicuboid ([20,22,30], [40,42,50], 50,'Void',[true,false,false]);`

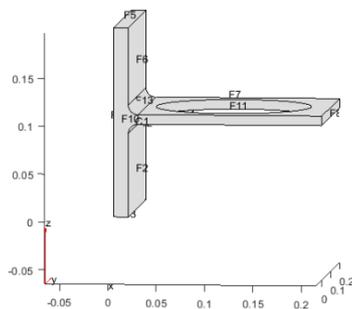


Рис. 1,а . Кронштейн (імпорт геометрії)

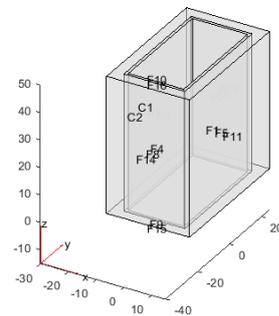
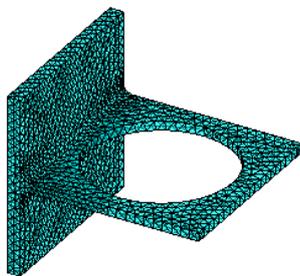
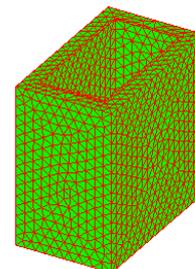


Рис. 1,б Фрагмент трубопроводу з ізоляцією, створений в MATLAB

Функція `generateMesh` генерує кінцевоелементну сітку (рис.2).



а)



б)

Рис. 2. Побудова кінцевоелементних сіток кронштейна (а) і трубопроводу (б).

За допомогою функцій `structuralProperties`, `structuralBC`, `structuralBoundaryLoad` задаються властивості матеріалу, навантаження, закріплення. Наприклад, команди

`YM = 200e9; % Pa, Модуль Юнга`

`PR = 0.3; % коефіцієнт Пуассона`

`MD = 7800; % кг/м^3, густина`

`structuralProperties(model,'Cell',1,'YoungsModulus',YM,'PoissonsRatio',PR, ...  
'MassDensity',DM);`

задають для об'єму №1 ('Cell',1,) моделі (model) модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона та густину матеріалу. Аналогічні функції використовуються і для теплових розрахунків. В результаті їх виконання отримуємо повністю заповнені

структури задач. Після цього, за допомогою функції `solve(model)`, в залежності від типу задачі автоматично вибирається вирішувач, та інтегрується сформована система рівнянь.

Команда `result = solve(model)`; після розв'язку системи рівнянь записує результати в структуру `result`. Після цього, враховуючи, що MATLAB має надзвичайно добре розвинені засоби обробки, дослідження та візуалізації даних, проектувальник має можливість це робити або зразу після розрахунку, або пізніше, зберігши структуру `result`.

Далі на рис.3-4 наведено приклади візуалізації розрахунків. Команда `pdeplot3D(model,'ColorMapData',result.Temperature)`

виводить зображення розподілу температур по товщині стінки трубопроводу та теплоізоляції

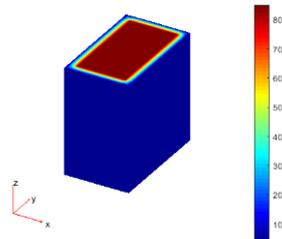


Рис. 3. Розподіл температур по товщині стінки трубопроводу.

Команди нижче виводять переміщення та напруження

```
pdeplot3D(model,'ColorMapData',result.Displacement.uz);
title('Переміщення вздовж осі z'); colormap('parula');
pdeplot3D(model,'ColorMapData',result.VonMisesStress)
title('Напруга по Мізесу')
maxdisp = max(abs(result.Displacement.uz));
fprintf('Максимальне переміщення складає: %12.4e\n', maxdisp);
```

Максимальне переміщення складає: 1.7740e-01



а)

б)

Рис. 4. Візуалізація результатів розрахунку кронштейна

Наведені результати показують, що такий підхід дозволяє використовувати одну САПР для усебічного дослідження та розрахунків технічних пристроїв та вирішує задачу забезпечення студентів навчальним середовищем для цього. В результаті такого підходу підвищується якість проектування та скорочуються його терміни, студенти готуються до вирішення реальних задач промисловості.

## Література

1. Partial Differential Equation Toolbox™ User's Guide© COPYRIGHT 1995–2020 by The MathWorks, Inc.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ У СКЛАДІ САПР

Коваленко О.О., к.т.н., доцент

Крейда А.М., ст.викл,

Шарапа В.М., студент

Черкаський державний технологічний університет

[a.kovalenko@2upost.com](mailto:a.kovalenko@2upost.com)

Якість технічних пристроїв та систем безпосередньо пов'язана з розробкою методів їх динамічного дослідження та вибору їх оптимальної структури та параметрів. Сучасні методики проектування і дослідження поєднують такі методи як аналітичні спрощені (на початковому етапі), які дозволяють визначити початкові варіанти схеми та параметрів; на другому етапі – математичне моделювання з використанням САПР для всебічного дослідження об'єктів та знаходження оптимальних параметрів; та кінцевому етапі – експериментальна перевірка отриманих при моделюванні результатів.

У доповіді описується методика вирішення задач оптимального проектування технічних пристроїв з використанням *CAE MATLAB*, що виконуються студентами в межах курсу «Основи комп'ютерних технологій проектування у машинобудуванні». Розглянуто набір функцій *MATLAB*, в яких реалізовані методи і алгоритми одновимірної і багатовимірної безумовної та умовної мінімізації, лінійного і квадратичного програмування, найменших квадратів та рішення рівнянь, формати звертання до них, вказані області їх використання, параметри для налаштування.

Демонстрація методики та можливостей деяких алгоритмів розглянуто на прикладах вирішення ряду оптимізаційних задач технічних пристроїв, а саме задача мінімізації маси ступінчатого валу маховика, задача оптимального розподілу передаточних відношень двоступінчатого редуктора між ступенями для мінімізації розмірів і маси редуктора, оптимізація параметрів динамічної системи (робочого органу маніпулятора) для досягнення заданих показників якості (перерегулювання, часу регулювання тощо) і, як узагальнення цієї задачі, при неможливості досягнення результату за рахунок зміни внутрішніх параметрів системи – використання коригуючого пристрою (ПД регулятора) та знаходження оптимальних значень його параметрів, які будуть забезпечувати потрібні динамічні характеристики системи.

Так, при проектуванні валу мінімальної маси розглядається ступінчатий вал, що обертається з великою швидкістю з масивним диском посередині (рис. 1) [1]. Прийнято, що за умови, коли маса диску значно більша маси валу  $m$ ,

$$m = \rho \frac{\pi l}{4} (2d_1^2 + d_2^2), \quad (1)$$

де  $\rho$  - густина матеріалу валу, розміри валу  $d_1, d_2, l$  – визначатимуться умовами динамічної стійкості.

Робоча кутова швидкість  $\omega$ . визначається як

$$\omega = k\omega_{кр}, \quad (2)$$

де коефіцієнт  $k \leq 0.7$ ;  $\omega_{кр}$  – критична кутова швидкість,

$$\omega_{кр} = \frac{1}{\sqrt{m\alpha}}, \quad (3)$$

де  $\alpha$  – податливість валу, для розглядуваної конфігурації визначається

$$\alpha = \frac{64l^3}{6\pi E} \left( \frac{1}{d_1^4} + \frac{19}{8d_2^4} \right), \quad (4)$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу валу.

Підставляючи відношення (3) та (4) в (2) отримуємо умову динамічної стійкості валу даної конфігурації у наступному вигляді

$$\frac{1}{d_1^4} + \frac{2.38}{d_2^4} - c = 0, \quad c = \frac{6\pi k^2 E}{64m\omega^2 l^3}. \quad (4)$$

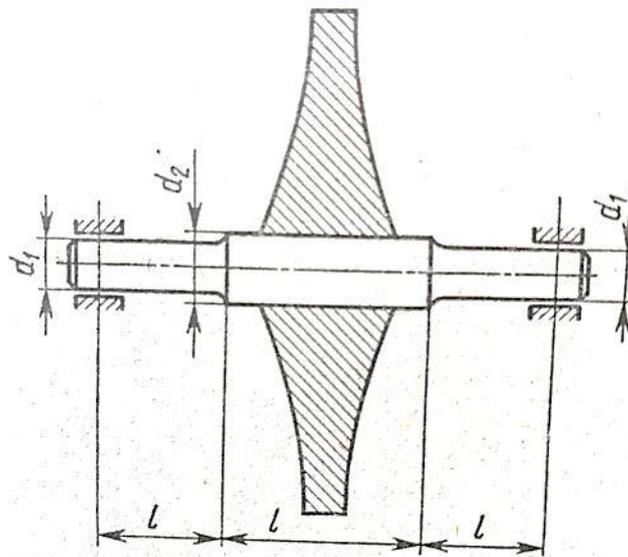


Рис. 1. Схема до розрахунку валу мінімальної маси

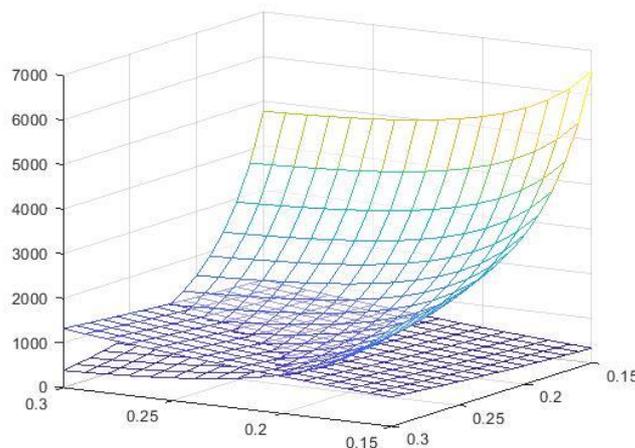


Рис. 2. Характер перетину цільової функції та обмеження-рівності

Таким чином для проведення оптимізації було визначено цільову функцію – відношення (1), функціональне обмеження-рівність – відношення (4) та

варійовані параметри, за рахунок зміни яких відбувається пошук оптимального рішення – геометричні розміри валу  $d_1, d_2$ .

Як цільова функція, так і функціональне обмеження-рівність являються криволінійними поверхнями в координатах  $d_1, d_2$ . Оптимальне рішення знаходиться на лінії перетину цих поверхонь. Для попереднього дослідження виду цих поверхонь та лінії перетину, приблизного діапазону зміни варійованих параметрів були побудовані графіки цих поверхонь.

Для проведення оптимізації у складі *CAE MATLAB* була використана функція умовної багатовимірної оптимізації *fmincon* [2], для якої задача оптимізації визначається як

$$\min_x f(x) \text{ за умови} \quad (4)$$

$$\begin{cases} c(x) \leq 0; & \text{– нелінійні обмеження – нерівності} \\ ceq(x) = 0; & \text{– нелінійні обмеження – рівності} \\ A \cdot x \leq b; & \text{– лінійні обмеження – нерівності} \\ Aeq \cdot x = beq; & \text{– лінійні обмеження – рівності} \\ lb \leq x \leq ub, & \text{– нижня і верхня межі зміни параметрів} \end{cases}$$

Один з можливих форматів звернення до функції має вигляд:

$$[x, fval] = \text{fmincon}(\text{fun}, x0, A, b, Aeq, beq, lb, ub, \text{nonlcon}, \text{options})$$

Перед використанням функції потрібно створити файли, в яких визначаються цільова функція *fun*, та нелінійні обмеження *nonlcon*, присвоїти початкові значення варійованим параметрам *x0*, задати межі зміни параметрів *lb, ub*. Замість тих параметрів, що не використовуються, задаються пусті множини  $[]$ .

Нижче наведена програмна реалізація задачі оптимізації маси валу.

% Задача визначення діаметрів ділянок ступінчатого валу мінімальної маси

```
clear all; clc; % Очистка робочого простору та екрану
X0 = [0.1; 0.2]; % вектор початкових діаметрів ділянок валу [м]
E = 210e9; % Модуль пружності [Па=Н/м^2]
l = 0.1; % довжина ділянок валу[м]
omega = 2*pi*1000; % кутова швидкість обертання валу [1/с]
k = 0.7; % коефіцієнт запасу
rho = 7800; % густина матеріалу валу [кг/м^3]
```

```
% Параметри функції fmincon
options = optimoptions('fmincon','Display','iter');
A=[]; b=[];
Aeq=[]; beq=[];
lb=[0.01, 0.01];
ub=[0.2, 0.25];
```

```

nonlcon = @nlcon;
[X,fval,exitflag,output] = fmincon(@(X)objfunshaft(X, rho, l),...
    X0, A, b, Aeq, beq, lb, ub,...
    @(X) nlcon(X, k, E, rho, l, omega), options);

% Вивід на екран значень діаметрів та їх відношення
D1=X(1)
D2=X(2)
K=X(2)/X(1)

% Цільова функція – визначення маси ступінчатого валу
function m = objfunshaft(X, rho, l)
d1 = X(1);
d2 = X(2);
m=rho*pi*l*(2*d1^2+d2^2);

% Функція нелінійних обмежень
function [c, ceq] = nlcon(X, k, E, rho, l, omega)
c = [];% Обмеження-нерівності відсутні
m=rho*pi*l*(2*X(1)^2+X(2)^2)/4;
c1 = 6*pi*k^2*E/64/m/omega^2/l^3;
ceq = 1/X(1)^4 + 19/8/X(2)^4 - c1; % визначення обмеження-рівності

```

#### Результати оптимізації

D1 = 0.0735 – оптимальний діаметр хвостовиків валу, м  
D2 = 0.0953 – оптимальний діаметр середньої частини валу, м  
K = 1.2965 – оптимальне відношення діаметрів

Наведені в доповіді результати показують, що такий підхід дозволяє автоматизувати складні процеси оптимізації технічних пристроїв та вирішує задачу забезпечення студентів навчальним середовищем для вивчення процесу розробки і контролю технічних систем, зокрема - маніпуляторів промислових роботів та верстатних пристосувань. В результаті такого підходу підвищується якість проектування та скорочуються його терміни, студенти готуються до вирішення реальних задач промисловості.

### Література

1. Иосилевич Б.Г. и др. Прикладная механика: Для студентов вузов/ Б.Г.Иосилевич Б.Г., П.А.Лебедев, В.С.Стрелков. - М.: Машиностроение, 1985. – 576 с., ил.
2. Optimization Toolbox™ User's Guide © COPYRIGHT 1990–2016 by The MathWorks, Inc.

**ВЛАСТИВОСТІ КЕРМЕТНИХ ПЛІВОК АТОМАРНО-КЛАСТЕРНОЇ ДИСПЕРСНОСТІ**

**Ковальчук В.В.**, д.ф.-м.н, Одеський коледж комп'ютерних технологій  
ОДЕКУ

**Мамука К.В.**, аспірант, НАУ, [lslvvas@ukr.net](mailto:lslvvas@ukr.net)

**Вступ і постановка задачі.** Управління властивостями матеріалів - один з ключових підходів у сучасній технології виготовлення інтегральних мікросхем мікроелектроніки та наноелектроніки [1]. З нашої точки зору, саме модифікування різних фаз речовини (у тому числі, аморфної матриці) шляхом введення нанокластерів, являє собою досить перспективний напрямок сучасних інженерних досліджень. Мета роботи полягала у вивченні фізико-хімічних властивостей керметів — аморфних матеріалів створених на основі  $\text{SiO}_2$ -матриці, яка модифікувалася шляхом введення нанокластерного растру з d-металів (таких як Cr, Mo, Nb) [2].

**Експеримент.** Для отримання плівок Cr-SiO<sub>2</sub>, Mo-SiO<sub>2</sub>, Nb-SiO<sub>2</sub> використовувалися очищені з'єднання: бісбензиолхром, бісбензилмолібден, NbCl<sub>4</sub>, а також тетраетоксисилан. Щоб отримати плівку Cr-SiO<sub>2</sub>, очищений інертний газ пропускався через нагріті органічні рідини (бісетилбензолхром та тетраетоксисилан), насичувався парами відповідних сполук, а потім потрапляв у кварцовий реактор з підкладкою, на яку, за допомогою системи лінз, фокусувався пучок потужного ультрафіолетового випромінювання (УФВ), що створювався ртутною лампою (ПРК-200, або ДРШ-500). Температура осідання плівки кермету сягала ~550°C. Змінюючи умови реакції (температуру підкладки, швидкість потоку реактиву в камері, інтенсивність УФВ), можна було отримати плівки SiO<sub>2</sub> з різним змістом Cr атомарно-кластерної дисперсності, при цьому величина питомого поверхневого опору плівок різко змінювалася: від 10 до 10<sup>4</sup> Ом/кв.

На рентгенограмах плівок Cr-SiO<sub>2</sub>, що знімалися на відбиття за методом Дебая-Шерера, були відсутні дифракційні лінії, за винятком розмитого максимуму в області малих кутів – гало. Загальна картина, яка була отримана на електронограмі від цих плівок, характеризується максимумом, що розташований поблизу первинного пучка. Величина зерна при цьому не перевищувала ~50 Å<sup>0</sup>, а висота нерівностей поверхні плівок, що визначалася методом реплік по куту відтінків важким металом, складала не більше 50-70 Å<sup>0</sup>, у залежності від температури осаду керметних плівок.

Нами були зафіксовані певні тенденції щодо зміни характеру структури плівок. Утворенню аморфної структури сприяє такий тип хімічних зв'язків, якому відповідає енергетичний мінімум, що свідчить про стійке структурування у найближчому оточенні кластероутворюючих атомів.

Ефекти провідності, що спостерігалися нами на аморфних плівках керметів (ці плівки складені з окремих атомів або груп атомів — нанокластерів — нанокластерних центрів [3], наприклад, d-металу, що оточені склоподібною

діелектричною оболонкою  $\text{SiO}_2$ ) у залежності від напруженості електричного поля можна умовно розділити на дві групи. До першої групи належать ефекти «слабого поля», що не викликають не обернених змін електричних властивостей плівок керметів. До другої – ті явища, що виникають за рахунок необернених змін, в електричній структурі зразків (сформовані «сильним полем»).

**Результати.** *Ефекти слабого поля.* Характерною особливістю провідності аморфних плівок  $\text{Cr-SiO}_2$  в цьому діапазоні напруженостей електричного поля є різка нелінійність вольт-амперних характеристик (ВАХ) плівок на постійному та змінному сигналі. Слід зауважити, що наші результати отримано при вимірюванні повздовжньої провідності  $\text{Cr-SiO}_2$  керметів на ситалі.

*Ефекти сильного поля.* Якщо значення струму через плівку кермета перевищував деяку величину  $I_0$  (у нашому випадку —  $5 \cdot 10^{-3} \div 10^{-1}$  А), то як правило, виникав новий стан, що характеризувався необоротними змінами в електричній структурі плівки. ВАХ, що формується в режимі «сильного поля» зразків на певних частотах, довели існування не лише омічних областей, але й такої області, де виявляються характерні стрибки провідності. Абсолютна величина стрибків провідності є значно вищою в разі поперечної провідності, коли між металевими електродами знаходився тонкий шар кермету (до  $\sim 10$  мкм).

Оскільки фізична природа провідності в аморфних плівках  $\text{Cr-SiO}_2$  залишається неясною, нами запропоновано наступні можливі механізми.

**Висновки.** Високий питомий опір плівок  $\text{Cr-SiO}_2$  може бути обумовлений: а) тунелюванням носіїв у склоподібному  $\text{Cr-SiO}_2$  (островкова провідність), якщо ізолюючі прошарки між  $\text{Cr}$  нанокластерами є малими; б) стрибковій провідності у гіпотетичному середовищі  $\text{Cr-SiO}_2$ , де перескок електронів по флуктуаційних рівнях в склі є полегшеним завдяки наявності великої кількості домішкових центрів  $\text{Cr}$ . У деяких областях ВАХ має переважати інтенсивний захват інжектів на пастки носіїв. При цьому залежність  $I(U)$  може сягати насичення або, навіть, супроводжуватися зменшенням струму із зростанням напруги. Область стрибкоподібної зміни провідності на досліджуваних плівках може бути пов'язана з лавинним звільненням електронів з локалізованих центрів електричним полем. Описані вище ефекти «аномальної» провідності є стійкими і можуть знайти технічне застосування при розробці, наприклад, нових типів нелінійних носіїв інформації.

### Література

1. Находкін М.Г., Сізов Ф.Ф.. Елементи функціональної електроніки. – К.: Слово, 2002. – 201 с .
2. Ковальчук В.В.. Кластерная модификация полупроводниковых гетероструктур. – К.: Hi-Tech., 2007. – 309 с .
3. Kovalchuk V. Optical Properties of clusters // J. of Physics & Electronics. – 2018. – Vol. 26 (1). – P. 29-34

## ПРИСТРІЙ З НАНОКЛАСТЕРНОЮ ПІДСИСТЕМОЮ

Ковальчук В.В., д. ф.-м. н., Одеський коледж комп'ютерних технологій  
ОДЕКУ

Сморж М.В., аспірант, НАУ, lslvvvas@ukr.net

**Актуальність.** В сучасних умовах розвитку промислового виробництва України надзвичайно актуальним є розвиток нових методів керування властивостями пристроїв електронної техніки. Електроніка з одного боку є каталізатором НТП, з іншого боку – вона потребує розробки нових методів для становлення нової наноелектроніки. Одним з розділів наноелектроніки є некогерентна оптоелектроніка. Електронні приладі, які використовують у цій галузі мають, як правило, шарувату структуру. Так, сучасні фотоприймачі оптичних інтегральних схем у своєму геометричному аспекті представляють собою гетеро структури, зокрема гетеропереходи (ГП). Перевагами таких пристроїв є висока швидкодія низький рівень шумів, широкий спектральний діапазон. Але найбільш важливим є низька інерційність роботи.

Розробка теорії та принципів побудови ГП нового типу представляє собою актуальну важливу наукову проблему, вирішення якої значно підвищить точність та чутливість, швидкодію та надійність приладів контролю та визначення складу речовини за допомогою поверхнево-чутливих матеріалів у вигляді кластеризованого шару – нанокластерної підсистеми (НКП) [1]. У цьому напрямку відкривається можливість визначення складу малих домішок нанометрового геометричного формату. Дослідження загального, локального та пошарового складу твердих тіл, малих домішок із застосуванням методів збудження фотонами направлені на розвиток нових методів неруйнівного контролю речовини.

**Мета роботи і постановка задачі.** Метою роботи є розробка нових методів контролю властивостей, характеристик речовини з НКП у вигляді ГП та пристроїв на її основі. А отже створення теорії і принципів проведення неруйнівного контролю, функціональної та тестової діагностики подібних систем є важливою інженерною задачею.

Для досягнення поставленої мети вирішувалася низка взаємозалежних задач: провести аналіз відомих методів формування, діагностики НКП та обґрунтувати необхідність керування її властивостями; розробити математичну і фізичну модель діагностики і впливу зовнішніх факторів на властивості НКП речовини у вигляді сукупності нанокластерів (НК); розробити принципи функціональної діагностики НКП, виділивши загальні конструктивні особливості утворення НК; розробити методику проведення фрактальної діагностики НКП речовини на основі принципів масштабної інваріантності переходу від модельної до реальної підсистеми; реалізувати на практиці розроблені принципи побудови НК речовини як складової ГП плівкового типу; розробити гетероструктурний пристрій на основі ГП з НКП. Предмет дослідження – НКП речовини, що утворена НК і формує ГП. Об'єкт дослідження – методи функціональної та тестової діагностики НКП речовини утворену НК.

**Виклад основного матеріалу.** У ГП, у зв'язку з інтенсивним розвитком в останнє десятиліття, все більше застосування знаходять методи визначення і модифікації їх структурної будови. Аналіз робіт останнього десятиліття довів, що розробка теорії та принципів побудови ГП з НКП до цього часу не проведено в повному об'ємі. Існуючі принципи побудови ГП розглядаються без врахування метрологічних правил та теорії вимірювання морфологічних характеристик НКП. Це зумовлює зниження точності, надійності таких систем.

Більшість відомих ГП використовується, як правило, в лабораторних умовах та на виробництві без урахування і без можливостей їхньої модифікації. З нашої точки зору саме НКП може бути використана для модифікації речовини та ГП плівкового типу, зокрема.

Зміна концентрації вільних носіїв у НКП, що складає ГП спричиняє модуляцію діелектричної проникливості, а отже, і показника заломлення світла, і це нашою хує нас на розвиток гіпотези про можливість функціональної модифікації базового матеріалу.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень, вирішено актуальну науково-технічну проблему розробки нових методів контролю властивостей речовини з НКП, що складається з НК і формує ГП [2]. При цьому були розроблені: методи контролю формування НКП речовини у вигляді багаторівневої НК-структури з елементами синергетичного гетерофлуктуаційного їх зародження та структуризації; теоретично обґрунтовано, що у методах контролю речовини з НКП визначальне значення має різка екстенсивність властивостей кластерної субфази; фізична та математична модель об'єкта нм діапазону зі складною квантово-розмірною морфологією, яка описує властивості НКП із заданою точністю; методи коректування дій, що нівелюють фактори, які впливають на погрішність виміру (типу «варіація базисного набору») характеристик НК; встановлено у динаміці взаємозв'язок погрішностей виміру параметрів НК з дією впливів, що їх збурюють; метод виготовлення ГП типу  $pCu_2S-(НКП)-nSi$ , який включає операцію нанесення на поверхню кремнієвої пластини КП; запропоновано нерйнівний метод контролю, що ґрунтується на виявленню спектрально-інверсованому і надлінійному фотовентильному ефекті в ГП типу  $pCu_2S-(НКП)-nSi$ ; запропоновано метод діагностики чутливості фотоелементів при надвеликих дозах опромінення фотонами.

### Література

1. Ковальчук В.В.. Кластерная модификация полупроводниковых гетероструктур. – К.: Hi-Tech., 2007. – 309 с .
2. Kovalchuk V., Smorgh M. Metrology of the Real Nanoclusters: Structure and Optical Characteristics // Metrology and devices. – 2020. – №2. – P.56-60

## ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ПОТОКУ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ІЗ НЕОДНОРІДНИМ ТРАФІКОМ

Любченко.В.В., м Київ, [lyubchenko.vladimir@gmail.com](mailto:lyubchenko.vladimir@gmail.com)

В реальних комп'ютерних мережах формується неоднорідний потік заявок, зумовлений надходженням різних типів пакетів, які відрізняються один від одного чисельними значеннями своїх (Рис.1). За допомогою системи масового обслуговування це можна записати у вигляді G/G/1 із неоднорідним потоком із N класів заявок;  $b_i$  - середній час обслуговування заявок  $i$ -го класу;  $a_i$  - середній інтервал часу між надходженням заявок  $i$ -го класу. Звідки можна визначити загрузку створену заявками  $i$ -го класу:

$$k_i = \frac{b_i}{a_i}$$

Для спрощення задачі опису закону розподілу для сумарного потоку скористаємося запропонованим способом Пустовойтовим, суть якого полягає в розщепленні вхідного потоку на елементарні складові.

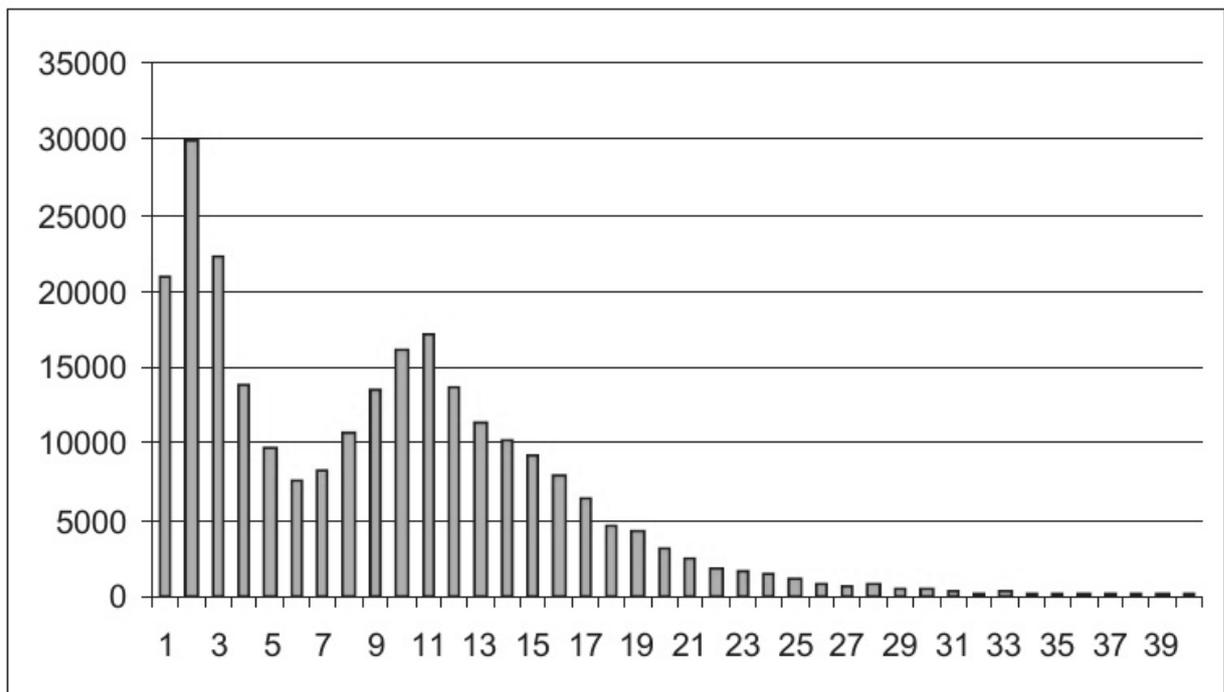


Рис.1 Гістограма випадкових довжин пакетів на вході мережі промислового підприємства

Трафік із зовнішніх джерел представляє собою пуасонівський процес із середнім значенням  $\gamma_{ij}$  повідомлень в секунду. Розмір повідомлення переданого по мережі будемо вважати однаковим і рівним  $\frac{1}{\mu}$  біт звідки між вузлові потоки повідомлень мають інтенсивність:

$$\gamma_{sj} = \frac{p_{sj}^o}{\frac{1}{\mu} - h_o} = \frac{\mu p_{sj}^o}{1 - \mu h_o}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$$

де  $p_{sj}^o$  - середній потік даних із  $i$ -го в  $j$ -й вузол,  $h_o$ - розмір заголовку повідомлення.

Звідки фактичний бітовий потік із вузлів  $v_i$  в  $v_j$  із врахуванням заголовків повідомлень :

$$p_{sj} = \gamma_{sj} \frac{1}{\mu} = \frac{p_{sj}^o}{1 - \mu h_o}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$$

Позначивши матрицю між вузлових потоків через  $P = (p_{ij})$  ,сумарний потік визначимо як:

$$p = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_{ij}$$

Визначимо  $\lambda_w$ - середня інтенсивність потоку повідомлень по  $w$ -му каналу зв'язку:

$$\lambda_w = \sum \sum \lambda_{ij} z_{ij}(w), w = 1, 2, \dots, W,$$

де  $\|z_{ij}\|$  - матриця маршрутів передачі даних;  $z_{ij}(w) = 1$ , якщо при передачі інформації із  $i$ -го вузла мережі в  $j$ -й вона проходить по  $w$ -му каналу передачі даних; 0 - в іншому випадку.

Оскільки обробка пакетів в вузлах комутації, зазвичай полягає у виконанні операцій, однакових для всіх пакетів незалежно від їх розміру, то можна вважати що час обробки для всіх пакетів постійний і залежить тільки від потужності процесора.

Звідки можна розглядати окремий процесор вузла комутації як систему M/D/1, на вхід якого поступає пуасонівський потік із інтенсивністю  $\lambda$ , а час обслуговування є постійним  $\frac{1}{q}$ . Звідки середня затримка пакетів в окремому вузлі комутації :

$$\theta_D = \frac{1}{2q} + \frac{1}{2(q - \lambda)} = \frac{1}{2q} + \frac{1}{2(q - \mu g)}$$

## ОБҐРУНТУВАННЯ БУДОВИ ТА ПРИНЦИПУ РОБОТИ МУФТИ ФЛАНЦЕВО-ПАЛЬЦЕВОЇ ПРУЖНОЇ ЗАПОБІЖНОЇ

Малащенко В.М., д.т.н., професор, НУ «Львівська політехніка»

Стрілець О.Р., к.т.н., НУ водного господарства і природокористування

Андрушков В.І., к.т.н., НУ водного господарства і природокористування

Стрілець В.М., к.т.н., професор, НУ водного господарства і

природокористування

[ua\\_oleg@hotmail.com](mailto:ua_oleg@hotmail.com)

В сучасній техніці, для з'єднання валів механічних приводів і передавання обертальних моментів, широко використовуються муфти [1; 2]. Вони є достатньо відповідальними механічними пристроями, що часто визначають надійність і довговічність всієї машини. Муфти належать до механічних пристроїв, без яких неможливе сучасне машинобудування. При передаванні руху і обертальних моментів від одного вала до другого, муфти виконують і такі відповідальні функції: компенсацію шкідливого впливу зміщення геометричних осей кінців валів, що виникають унаслідок неточностей виготовлення, монтажу або конструктивних особливостей та умов експлуатації; амортизацію вібрацій, поштовхів та ударів, що виникають під час експлуатації механічних приводів; полегшення пуску машини; захист деталей механічних приводів від перевантажень, тощо. Такі різноманітні експлуатаційні вимоги сприяли появі великої кількості конструкцій муфт різних видів. Нами розроблені на рівні патентів України на корисні моделі нові муфти фланцево-пальцеві пружні запобіжні з вибором вільного ходу [3; 4], які усувають недоліки присутні подібним муфтам. На рис. 1 приведена будова такої муфти.

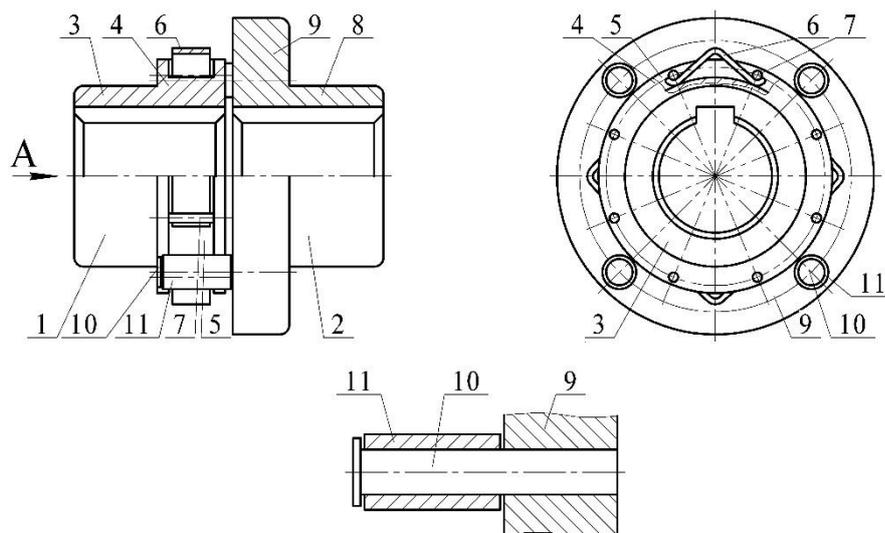


Рис.1. Конструктивна схема до пояснення будови муфти

Муфта фланцево-пальцева пружна запобіжна з вибором вільного ходу складається з двох півмуфт 1 і 2. Півмуфта 1 виконана у вигляді маточини 3 і

фланця 4. На циліндричній поверхні фланця 4 виконана кільцева канавка 5 у якій осесиметрично розміщені пружини 6 і закріпленні штифтами 7 з можливістю видовжуватись по дну канавки 5 при радіальній деформації. Півмуфта 2 виконана у вигляді маточини 8 і фланця 9 у якому осесиметрично жорстко закріплені, наприклад запресовані пальці 10 на однаковій відстані від осі обертання муфти. На пальцях 10, що виступають над торцем фланця 9 поставлені втулки 11 з можливістю обертального руху.

Муфту фланцево-пальцеву пружну запобіжну з вибором вільного ходу збирають наступним чином. У кільцеву канавку 5 півмуфти 1 на фланці 4 вставляють пружини 6 і закріплюють штифтами 7 з можливістю видовжуватись від радіальної деформації. В отвори на торці фланця 9 півмуфти 2, розміщені осесиметрично та на однаковій відстані від осі обертання запресовують пальці 10 з встановленими втулками 11 з можливістю обертального руху. Півмуфти 1 і 2 зближають торцями фланців 4 і 9 так, щоб при відносному повороті і виборі вільного ходу втулки 11, встановлені на пальцях 10, контактували з пружинами 6. Муфта готова до роботи.

Муфта фланцево-пальцева пружна запобіжна з вибором вільного ходу працює так. При передачі обертального моменту від півмуфти 1 до півмуфти 2 вибирається вільний хід і пружини 6 контактують з втулками 11, встановленими на пальцях 10. При цьому передається допустимий обертальний момент. Коли обертальний момент перевищує допустимий, під дією втулок 11, поставлених на пальцях 10, пружини 6 радіально деформуються і видовжуються. В цей час втулки 11, поставлені на пальцях 10, перекочуються по пружинах 6 – виконується запобіжна функція муфти. При зменшенні обертального моменту до допустимого, пружини 6 приймають початкову форму. Муфта передає допустимий обертальний момент. Із-за деформації пружин 6 обертальний момент передається м'яко. Крім того, муфта фланцево-пальцева пружна запобіжна з вибором вільного ходу, полегшує пуск машини і виконує запобіжні функції, а також компенсує неточності з'єднання валів.

Вразливим місцем муфти є пружини, у вигляді арок параболічної форми, показаної на рис. 2.

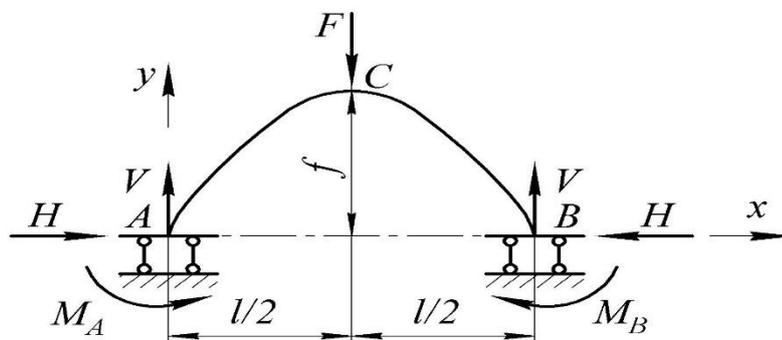


Рис. 2. Розрахункова схема пружини

При вирішенні задачі міцності пружини прийняті наступні припущення, що: вісь пружини представляє параболічну арку; вертикальні реакції направлені

паралельно дії зовнішньої сили і рівні її половині; сили тертя в місцях контакту з поверхнею канавки, направлені вздовж осі  $x$ ; зовнішнє навантаження рівномірно розподілене на всі пружини і прикладене до їх середин.

Задача буде один раз статично невизначеною. Для розв'язку скористаємось методом сил. Канонічне рівняння методу сил матиме вигляд:

$$\delta_{11} \cdot X_1 + \Delta_{1F} = 0 \quad (1)$$

Визначаємо значення коефіцієнта  $\delta_{11}$  і вільного члена  $\Delta_{1F}$  рівняння (1). В зв'язку з тим, що при дії одиничного моменту  $x_1 = 1$  реакції  $V_A$  і  $H_C$  дорівнюють нулю, то в перерізах основної системи відсутні поперечні і поздовжні сили. Значить при визначенні  $\delta_{11}$  і  $\Delta_{1F}$  потрібно користуватись формулою Мора без врахування поперечних і поздовжніх сил:

$$\delta_{11} = \int \frac{M_1 M_1}{EJ} ds; \quad \Delta_{1F} = \int \frac{M_F M_1}{EJ} ds. \quad (2)$$

Будемо вважати, що  $ds \approx dx$  і жорсткість  $EJ = const$ . Тоді:

$$\delta_{11} = \frac{l}{2EJ}, \text{ а } \Delta_{1F} = \frac{Fl}{EJ} \cdot \frac{3l - 4f\mu}{48}. \quad (3)$$

Згинний момент в перерізі на відстані  $x$  від початку координат дорівнює:

$$M_{(x)} = \frac{Fx}{2} - \frac{2Fxx\mu}{l} + \frac{2Fx^2 f\mu}{l^2} - \frac{3Fl}{8} + \frac{4Ff\mu}{6}. \quad (4)$$

За допомогою виразу (4) можна визначити величини згинаючого моменту при відомій деформації пружини при передаванні граничного обертового моменту та відомими методами оцінити її міцність.

Такі муфти поліпшують експлуатаційні показники механічних приводів машин – м'якіше передають динамічний обертовий момент, компенсують неспіввісності і покращують технологічність з'єднання валів.

### Література

1. Малащенко В. О., Стрілець В.М., Стрілець О.Р., Федорук В.А. Нові муфти механічних приводів машин. Монографія. Рівне : НУВГП, 2019. 198 с.
2. Муфта фланцево-пальцева пружна запобіжна з вибором вільного ходу: пат. 137921 Україна: МПК F16D 3/12. u №2019 04343; заявл. 22.04.19; опубл. 11.11.19, Бюл. № 21. 3 с.
3. Муфта фланцево-пальцева пружна запобіжна з вибором вільного ходу: пат. 138341 Україна: МПК F16D 3/12. u №2017 05002; заявл. 30.05.19; опубл. 26.11.19, Бюл. № 22. 3 с.
4. Ржаницын А.Р. Строительная механика: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1982. 400 с.

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОРІВНЕВОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ БАГАТОКЛАСОВОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ СКЛАДНОЇ ОБЕРТОВОЇ СИСТЕМИ**

**Паздрій О.Я.**, аспірант, НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[olgapazdri@gmail.com](mailto:olgapazdri@gmail.com)

Експлуатація складних обертових систем, наприклад газотурбінного двигуна (ГТД) характеризується вимушеними та резонансними коливаннями його вузлів та компонентів. Шумоподібні вібраційні сигнали, які випромінює ГТД несуть в собі діагностичні дані про його функціональний стан та режим роботи. На основі отриманих даних можна спрогнозувати майбутнє пошкодження двигуна чи порушення його штатних режимів експлуатації внаслідок неконтрольованих впливів. Представлена робота продовжує дослідження та вдосконалення віброакустичного моніторингу стану складних обертових систем (ОС) для забезпечення їх надійної роботи.

Головне завдання моніторингу є багатокласова діагностика початкових несправностей ОС на стаціонарному та нестаціонарному режимах експлуатації. Обробка діагностичної інформації (ДІ) з метою виявлення ознак несправностей є однією з основних процедур моніторингу стану [1,2]. Отримана діагностична інформація представлена у вигляді низькочастотної вібрації та акустичного шуму у діапазоні в 0-10 кГц. Результати обробки таких шумоподібних сигналів часто досить складні для інтерпретації, порівняння та вирішення технічного стану ОС. Для своєчасного виявлення та підвищення діагностичної цінності ознак несправностей таких систем пропонується застосування декілька рівнів обробки ДІ, заснованої на різних методах.

Застосування вейвлет-аналізу та безрозмірних пікових характеристик віброакустичних сигналів у [3], а також частотно-часовий аналіз та фрактальний аналіз в [4] показали ефективність багаторівневої обробки віброакустичних сигналів для діагностики початкових тріщиноподібних дефектів в лопатках обертової системи. У цій роботі ми пропонуємо використовувати біспектральний аналіз на першому рівні обробки сигналу та фрактальний аналіз контурних зображень біспектрального аналізу на другому рівні обробки сигналів для діагностики невеликого дебалансу обертової системи. Метою даної роботи є обґрунтування можливості та ефективності використання запропонованої багаторівневої обробки вібраційних сигналів з метою виявлення діагностичних показників невеликого дебалансу обертової системи на стаціонарному та нестаціонарному режимах роботи.

Експериментальні дослідження вимушених коливань фізичної моделі (ФМ) ОС (пускова нагнітаюча турбіна) проводились на стаціонарному та нестаціонарному режимах експлуатації. Досліджено наступні два технічні стани ФМ: бездефектний стан та наявність невеликого дебалансу (додаткове навантаження невеликої ваги на одну лопатку).

Отримані віброакустичні сигнали було розділено на окремі вибірки різної довжини, щоб обробляти інформацію окремо для кожного режиму вібраційного збудження (розгін, перехідний процес, стаціонарний режим та режим вибігу) та порівнювати отримані результати для різних технічних станів ФМ. Для обробки частин сигналу було застосовано біспектральний аналіз.

Результати аналізу ілюструють, що наявність невеликого дебалансу вносить зміни до біспектральних оцінок, представлених у вигляді двомірних контурних зображень, що характеризують залежність біспектральних оцінок від нормованих частот. Візуально зображення відрізняються, але важко вибрати метод за яким визначити діагностичний показник для інтерпретації стану об'єкта діагностики.

Контурні зображення мають складну структуру і їх можна класифікувати як фрактальні зображення. Тому пропонується використовувати обробку отриманих контурних зображень методами фрактального аналізу, щоб полегшити інтерпретацію біспектральних оцінок та визначити особливості дебалансу ОС. Застосування фрактального аналізу добре зарекомендувало себе для визначення прихованих залежностей та неявних змін у фізичних процесах. Основне завдання фрактального аналізу- пошук фрактальної розмірності, в даному випадку використовувалась розмірність Мінковського D. Порівняльний аналіз значень розмірності Мінковського, як діагностичного показника за відсутності та наявності дебалансу дуже добре ілюструє відмінності в технічному стані ФМ ОС на різних режимах роботи. Використання додаткового фрактального аналізу дозволяє збільшити інформативний зміст біспектральних оцінок віброакустичних сигналів.

Отримані результати показують ефективність багаторівневої обробки вібраційних сигналів і можуть бути використані для багатокласової діагностики початкових несправностей ОС на стаціонарному та нестаціонарному режимах.

### Література

1. W. Staszewski, C. Boller, G. Tomlinson, Health Monitoring of Aerospace Structures: Smart Sensor Technologies and Signal Processing, John Wiley & Sons Ltd. 2004.

2. Методи цифрової обробки сигналів для вібраційної діагностики авіаційних двигунів [Текст] : монографія / Н.І. Бурау, Л.Л. Яцко, О.М. Павловський, Ю.В. Сопілکا. – К.: НАУ, 2012. – 152 с.

3. N. Bouraou, Iu. Sopilka, Vibroacoustical diagnosis of the crack-like damages of aircraft engine blades at the steady-state and non-steady-state modes, Vibrations in Physical Systems, 24 (2010) 69-74.

4. O. Pazdrii, N. Bouraou, Two-level signal processing of vibroacoustical signals for condition monitoring of complex rotary systems, Proc. of NTSP (2018) 164-168.

## УЗАГАЛЬНЕНА СТРУКТУРНА СХЕМА ВЕРСТАТА З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

Приз В.А., студент, НАУ

**Вступ.** Застосування верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) є прогресивним напрямом автоматизації виробництва. Верстати ЧПК - це високотехнологічне обладнання, в якому виконавчі пристрої керуються автоматично. Приводи, керовані за певною програмою, пускають у хід робочий елемент верстата. Залежно від призначення верстата робочим елементом може бути шпindel, свердло, пуансон і т.д.

**Основна частина.** Особливістю верстатів з ЧПК є наявність керованих приводів, які забезпечують необхідні режими обробки. Функціями ЧПК є: формування сигналів керування для приводів, які представляють собою аналогові сигнали або двійкового коду.

Сигнали змінюються відповідно до програми обробки записаної в пам'ять пристрою числового програмного керування (ПЧПК). Ці сигнали в пристрої управління приводами перетворюються таким чином, що б забезпечити обертання двигуна приводу з необхідною швидкістю.

Для керування вибором інструмента, зміни діапазону обертання, взаємодії з кінцевими вимикачами використовується електроавтоматика. В якості електроавтоматики верстата використовують реле і спеціальні електронні пристрої.

Система ЧПК, окрім ПЧПК, включає креслення деталі, систему підготовки програми і систему технологічної підготовки. Ця система забезпечує інформацією про технологічний процес, режими різання.

Структурно до складу ЧПК входять:

- пульт оператора (або консоль введення-виведення), що дозволяє вводити керуючу програму, задавати режими роботи; виконати операцію вручну.
- дисплей (або операторська панель)
- контролер (комп'ютеризований пристрій)
- ПЗУ - пам'ять, призначена для довготривалого зберігання.
- ОЗУ - пам'ять, призначена для тимчасового зберігання.

За ступенем досконалості і функціональними можливостями системи ЧПУ діляться на:

- NC (характеризуються апаратної реалізацією алгоритмів, тобто працюють за жорсткою логікою, розраховані на роботу з оператором і призначені для управління обмеженим класом технологічного обладнання);
- SNC (відрізняються від NC розширеним об'ємом оперативної пам'яті);
- CNC (побудовані на базі мікро ЕОМ і мікропроцесорів, забезпечують уніфікацію засобів управління, тобто є багатоцільовими);
- DNC (безпосередньо числове управління, введення керуючої програми здійснюється безпосередньо від ЕОМ вищого рангу).

По виду руху виконавчих механізмів верстати ЧПК діляться на позиційні, контурні і комбіновані.

Можливості обладнання істотно відбилися на технології обробки деталей, верстатної оснащення і ріжучих інструментах. Однією з основних завдань процесу виготовлення деталей стала оптимізація технологічного процесу з метою мінімізації витрат на різальний інструмент і верстатне оснащення.

Важливу роль в цьому відіграє можливість здійснювати програмування обробки з використанням різних систем автоматизованого проектування (САПР). Сучасні САПР дають можливість в діалоговому режимі здійснювати процес створення керуючих програм, візуалізацію процесів обробки і призначення стратегій обробки.

**Висновок.** Верстати ЧПК – це високотехнологічне обладнання, яке складається з багатьох компонентів, полегшує та значно збільшує продуктивність праці шляхом автоматизації виробництва. Вони бувають різних видів та можуть бути направлені на виконання різних завдань. З роками верстати ЧПК значно удосконалювались, стали доступнішими у користуванні, швидшими та продуктивнішими.

### Література

1. Кошкин В.Л. Аппаратные системы числового программного управления.-М.; Машиностроение, 1989.-248с.: ил.
2. Аніщенко М.В. Системи числового програмного керування: навч. Посібник / М.В. Аніщенко. – Підручник НТУ “ХПІ”, 2012, – 312 с.
3. Андреев Г. И. Работа на станках с ЧПК. Система ЧПК FANUC / Г. И. Андреев, Д.Ю. Кряжев. Санкт-Петербург: Взлет, 2007. – 84 с.
4. Плахотний М. В. Алгоритмічне та програмне забезпечення системи керування станком з ЧПК / М. В. Плахотний, В. О. Дашенко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції. Вінниця, 19-21 травня 2010 року.– Вінниця: ВНТУ, 2010.– С.56-57

## ЗАСТОСУВАННЯ 3-D МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗМІРІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ЗУБЧАСТОГО ДИФЕРЕНЦІАЛА З ЗАМКНУТОЮ ГІДРОСИСТЕМОЮ ПРИ КЕРУВАННІ ШВИДКІСТЮ ЧЕРЕЗ ВОДИЛО

Стрілець О.Р., к.т.н., НУ водного господарства та природокористування,  
[o.r.strilets@nuwm.edu.ua](mailto:o.r.strilets@nuwm.edu.ua)

В усій техніці у різних галузях промисловості, широко відомі ступінчасті і безступінчасті способи керування змінами швидкості та пристрої для їх реалізації. Відомі способи і пристрої зміни швидкості мають багато недоліків. Основними недоліками ступінчастого керування швидкістю є складність конструкцій пристроїв, їх велика матеріаломісткість, великі динамічні навантаження, які виникають при переході з однієї швидкості на другу та важкість автоматизації. Для безступінчастого керування швидкістю характерне велике спрацювання деталей за рахунок використання фрикційних гальм і блокувальних фрикційних муфт. Як наслідок цього, зменшується довговічність і надійність деталей приводів і машин в цілому. На основі цих висновків виникає проблема створення нових пристроїв для зміни швидкості машин на основі зубчастих диференціалів з замкнутими гідросистемами [1], які б усували вказані недоліки.

На рис. 1 показаний зубчастий диференціал, який складається з сонячного зубчастого колеса 1, сателітів 2, епіцикла 3 і водила 4 розміщених в корпусі 5, на якому встановлений зупинник 6 і зв'язаний з водилом 4 зубчастою передачею 7. Для такого пристрою зміни швидкості

проведені кінематичні [2] і енергетичні [3] дослідження, які підтверджують їх ефективність.

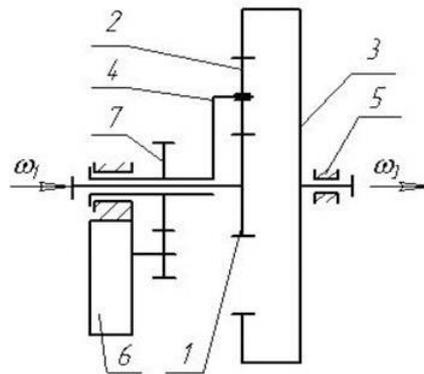


Рис. 1. Схема зубчастого диференціала з замкнутою гідросистемою, коли керування виконується через водило

На прикладі цього зубчастого диференціала і замкнутої гідросистеми виконаємо побудову трьохмірної моделі пристрою для плавної зміни швидкості через водило. Виконання побудови трьохмірної моделі зубчастого диференціала з замкнутою гідросистемою для плавного керування змінами швидкості, де

керування здійснюється через водило будуємо способом - “знизу-вверх”, тобто з початку створюємо по черзі всі моделі деталей, які входять до складу зубчастої диференціальної передачі.

Починаємо з створення моделі сонячного зубчастого колеса. Далі моделюємо ведучий вал, на якому буде встановлено змодельоване сонячне зубчасте колесо, водило з сателітами, кришку корпуса і зубчасте колесо привода шестеренчастого насоса (рис. 2, *а*). Після цього виконуємо модель зборки ведучого вала, показану на рис. 2, *б*.

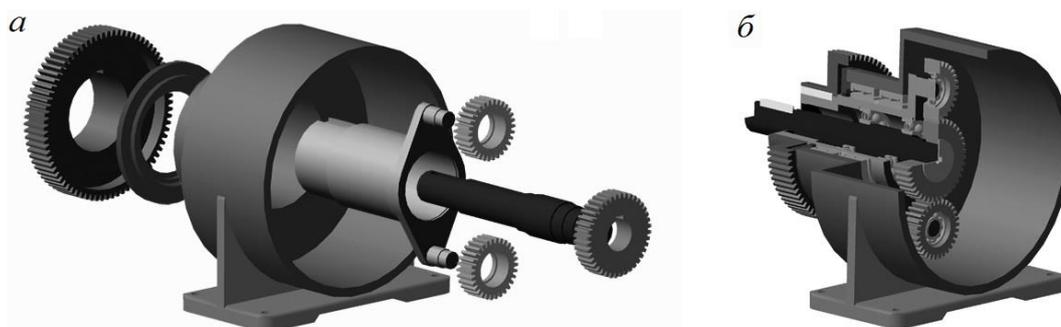


Рис. 2. Моделі: *а* – деталей сонячного зубчастого колеса і водила; *б* – їх зборка

Затим моделюємо зубчасте колесо – епіцикл, вал ведений, кришку корпуса передачі і наскрізну кришку підшипника (рис. 3, *а*). Після цього можна виконати модель зборки веденого вала, показану на рис. 3, *б*. Підшипники кочення, шпонки, шайби и гвинти вибираються із бібліотеки системи КОМПАС-3D.

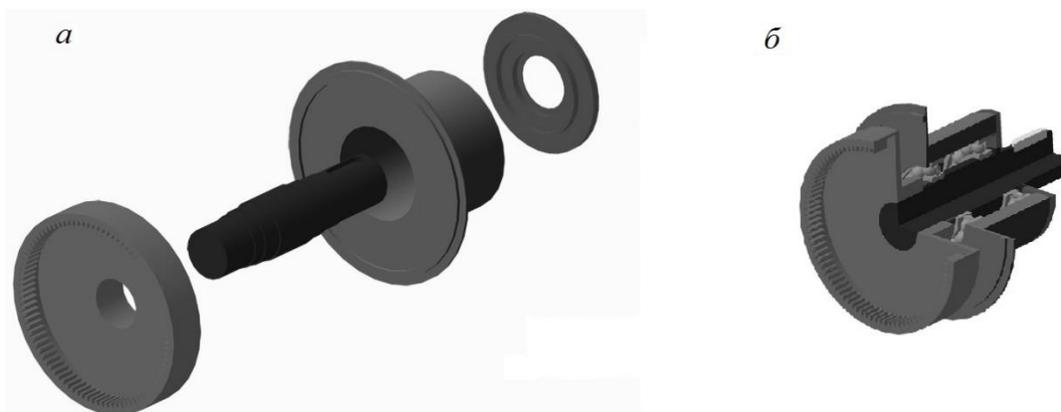


Рис. 3. Моделі: *а* – деталей епіцикла і веденого вала; *б* – їх зборка

Після завершення моделювання окремих деталей зубчастої диференціальної передачі і пристрою у вигляді замкнутої гідросистеми для плавного керування змінами швидкості приступають до зборки загального вигляду моделі (рис. 4, *а*). На кінець, для виконаної зборки змодельованої зубчастої диференціальної передачі з пристроєм у вигляді замкнутої гідросистеми для плавного керування змінами швидкості через водило,

виконують вирізи, щоб максимально відкрити і відобразити її внутрішню будову (рис. 4, б).

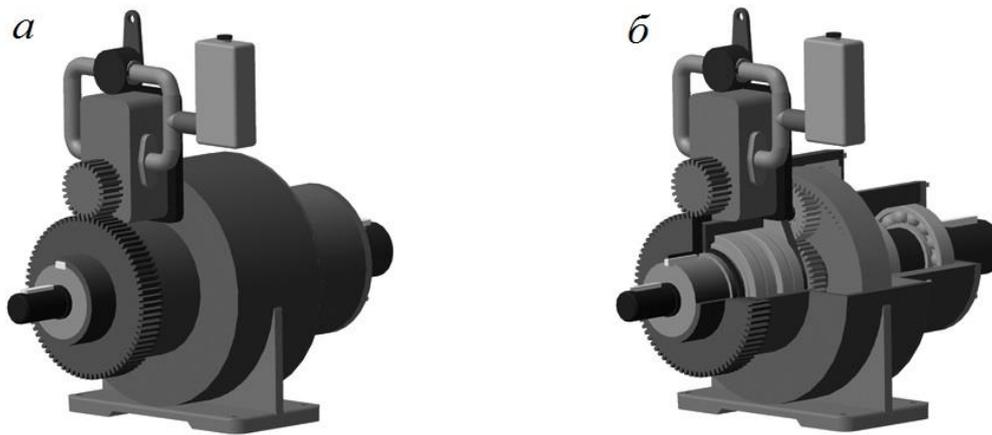


Рис. 4. Модель-зборка зубчастого диференціала з замкнутою гідросистемою з керуванням через водило: *а* – без розрізу і *б* – з розрізом

На початковій стадії проектування можна отримати візуальне уявлення про пристрій, оглянути його з будь-якої точки, отримати велике число можливих варіантів проектних рішень, а на основі аналізу вибрати самий кращий і приступити до розробки технічних документів. При цьому досягають велику економію часу и затрат, так як трьохмірні моделі легко редагувати, тобто вносити необхідні зміни. Розглянуту методику можна використати для створення моделей різних розмірів, з одно- і багатоступінчастими зубчастими диференціалами з замкнутими гідросистемами, коли керування швидкістю виконується через епіцикли або сонячні зубчасті колеса, при їх проектуванні.

### Література

1. Малащенко В.О. Класифікація способів і пристроїв керування процесом зміни швидкості у техніці / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Підйомно-транспортна техніка. – Одеса: 2015. - №1. – С. 70–78.
2. Стрілець О. Р. Керування змінами швидкості за допомогою зубчастої диференціальної передачі через водило / О. Р. Стрілець // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – № 6 (95), ч. 1, 2015. – С. 87–92.
3. Малащенко В.О. ККД. зубчастої диференціальної передачі у пристрої для керування змінами швидкості через водило / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. Серія: Проблеми механічного приводу. – Харків: НТУ ”ХПІ”, 2017. – №25(1247). – С.97-102.
1. Кидрук М.И. Компас – 3D V9. Учебный курс / М.И. Кидрук . – Санкт-Петербург: Питер, 2007. – 496 с.

**ФІЛЬТР МАДЖВІКА В АЛГОРИТМІ ІНКЛІНОМЕТРА**

**Строкач Г.Ю.**, студент, НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
gr.strokach@gmail.com

**Сапегін О.М.**, асистент, НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[sapegin\\_a@ukr.net](mailto:sapegin_a@ukr.net)

Поява такої електронної платформи як Arduino, основними ідеями якої є простота при використанні апаратного та програмного забезпечення та відкритість початкового коду, дозволило її користувачам створити велику кількість модифікацій та поліпшень для роботи з платформою. Одним з результатів таких поліпшень є додаток до програмного середовища Matlab – «Matlab Support Package for Arduino Hardware», що дозволяє програмувати плати Arduino безпосередньо в самому середовищі. В додаток вбудовані бібліотеки для взаємодією зі зовнішньою периферією через інтерфейси “I2C” й “SPI”, а також для керування сервомашинами бібліотека “Servo”. [1]

У статі авторів (2) було успішно створено інклінометр в основі алгоритму роботи котрого головними чутливими елементами нахилу приладу виступали акселерометр. Однак, використання в алгоритмі інклінометра чутливих елементів у вигляді акселерометрів має один суттєвий недолік – при переміщені приладу разом з об’єктом, на якому він встановлений, акселерометри зчитують прискорення його руху і виміряне значення кутів становиться хибним. Так, якщо вісь X направити по ходу руху об’єкта, а вісь Y, відповідно, перпендикулярно до осі X і імітувати невеликі нахили при русі об’єкту, то вихідне значення інклінометру матиме вигляд графіку на рис. 1.

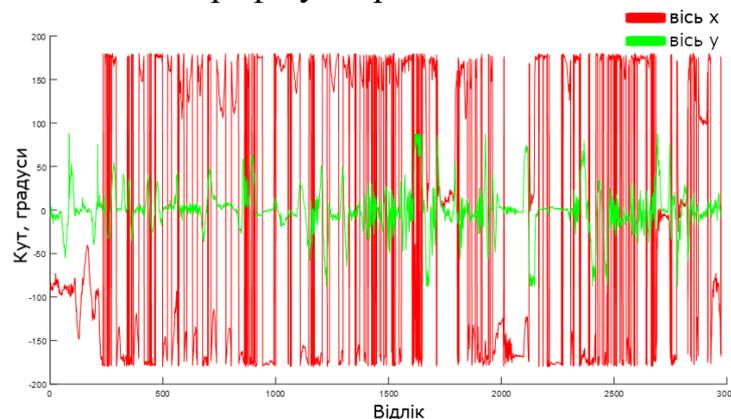


Рис. 1. Покази куту міру на основі акселерометрів на рухомому об’єкті

Як видно з графіка, обчислювальний за алгоритмом кут осі X (червоний) має хаотичний вигляд, що не відповідає заданим значенням нахилу через вплив прискорення об’єкта на чутливі елементи. Саме через це унеможливується використання лише акселерометрів для роботи рухомих основ. Для вирішення проблеми необхідно разом з акселерометрами використовувати гіроскопи.

В якості алгоритму роботи для системи можна використовувати фільтр, що був розроблений Себастьяном Маджвіком і носить назву свого автора. Сам фільтр виступає альтернативою для фільтра Калмана. Так фільтр оснований на

процесах Калмана потребує великі обчислювальні потужності для свого впровадження. Розроблений же Маджвіком фільтр знімає проблеми точності та налаштування параметрів фільтрів, що базуються на підходах Калмана і висуває такі переваги: два параметри для регулювання (один для систем без магнітометрів), які визначаються із спостерігаємих параметрів системи; аналітичні обчислення та оптимізація методом градієнтного спуску, які дають підвищення точності при малих частотах дискретизації; компенсація зміщення нуля та магнітних скривлень у реальному часі. Також фільтр Маджвіка передбачує значне скорочення обчислювального навантаження й дозволяє фільтру оптимально підсилювати джерело даних базуючись на спостерігаємих характеристиках системи.[3]

Програмний код фільтра Маджвіка був викладений його автором в додатках роботи (3), а також доступний у відкритому вигляді на мовах C, C# та Matlab. Тому можна з легкістю використовувати даний фільтр для роботи з інерціальними вимірювальними модулями (ІВМ, англ. – Inertial Measurment Unit) чи інерціальними навігаційними системами (ІНС, англ. AHRS — Attitude and Heading Reference Systems) у середовищі Matlab. Так створивши об'єкти для взаємодії з платою Arduino та ІВМ (ІНС) можна зчитувати з нього значення акселерометрів та гіроскопів (для ІНС додатково - магнітометрів) з постійним, відомим кроком опитування й передавати до об'єкту фільтра значення датчиків. Надалі «витягувати» з об'єкту фільтра кватерніон стану та з нього вираховувати кути Ейлера і далі передавати для відображення на графіках, циферблатах тощо. Для ІВМ, наприклад, вхідні значення мають бути в розмірності рад/с для гіроскопів та м/с<sup>2</sup> для акселерометрів і тому, для переводу з цифрового коду, в пакеті «Matlab Support Package for Arduino Hardware» для найбільш поширених датчиків (MPU6050, MPU9250, LSM9DS1) вже вбудовані алгоритми перерахунки на град/с та м/с<sup>2</sup> для них. В сам об'єкт фільтра передається частота опитування ІВМ та коефіцієнт підсилення фільтра.

Висновок: для використання інклінометру на рухомій основі краще вираховувати значення його нахилів за допомогою фільтра Маджвіка, який є простим для налаштування та використання та не потребує великої кількості обчислювальної потужності.

### Література

1. MATLAB Support Package for Arduino Hardware Documentation – Режим доступу: <https://www.mathworks.com/help/supportpkg/arduinoio/index.html>

2. Строкач Г.Ю, Сапегін О.М. Кутомір на основі акселерометру ADXL-335. ПОГЛЯД У МАЙБУТНЄ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: збірник праць XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 15-16 травня 2019 р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Центр учбової літератури. – 2019. – С 46-48

3. Sebastian O.H. Madgwick. An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays. URL: [https://www.x-io.co.uk/res/doc/madgwick\\_internal\\_report.pdf](https://www.x-io.co.uk/res/doc/madgwick_internal_report.pdf)

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ MATLAB И COMSOL MULTIPHYSICS ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

**Хайдуров В.В.**, к.т.н., с.н.с., Институт технической теплофизики НАН Украины, [allif0111@gmail.com](mailto:allif0111@gmail.com)

**Вступление.** Решение современных научно-технических задач невозможно без вычислительной техники и прикладных программных пакетов моделирования поведения сложных динамических объектов и систем. Сложность при моделировании таких систем заключается во многих факторах. Первым и немаловажным фактором сложности есть их нелинейность [1; 2; 4; 5]. Одними из самых популярных современных прикладных программных пакетов моделирования сложных нелинейных физических процессов в системах разного происхождения есть MATLAB и COMSOL Multiphysics. Существенным плюсом пакета COMSOL Multiphysics есть плотное взаимодействие с МАТАВ, а именно, создание скриптов, которые могут содержать самые разнообразные промежуточные и конечные результаты моделирования. Это дает дополнительные возможности для их дальнейшего анализа, а также расширяет возможности при их визуализации.

**Постановка задачи.** Есть твердая пластина с дефектом в виде трещины (задается геометрически). Пластина имеет конкретные физическими и геометрическими характеристиками (они заданы) [3]. На пластине задано точечный источник, создающий звуковые волны (задана частота и амплитуда сигнала). Геометрическое положение источника известно. Нужно промоделировать прохождение сигнала через пластину с дефектом в виде трещины с применением программных пакетов MATLAB и COMSOL.

**Математическая модель задачи.** В безразмерных координатах уравнение, которое описывает волновой процесс в однородной пластинке имеет вид:

$$\partial^2 U / \partial t^2 = \partial^2 U / \partial x^2 + \partial^2 U / \partial y^2, \quad (1)$$

где  $(x, y) \in [-0,5; 0,5]^2$ ;  $t \in [0; 1]$ . Начальные условия для (1) с учётом покоя пластины в начальный момент времени имеют вид:

$$U(x, y, 0) = U_t(x, y, 0) = 0. \quad (2)$$

Граничные условия (на границе  $\Gamma$ ) для (1) с учетом свободных концов пластины имеет следующий вид:

$$\left. (\partial U / \partial \bar{n}) \right|_{\Gamma} = 0. \quad (3)$$

Внутреннее условие (источник гармонических колебаний):

$$U(0, 2; 0; t) = 30^{-1} \sin 16\pi t, \quad t > 0. \quad (4)$$

Внутреннее условие на границе дефекта (на границе  $\Gamma_2$  трещины  $G$ ):

$$\left(\frac{\partial U}{\partial \bar{n}}\right)\Big|_{\Gamma_2} = 0, \quad (5)$$

где  $G = \left[-0,5 \times 10^{-3}; 0,5 \times 10^{-3}\right] \times \left[-0,15; 0,15\right]$ .

Задача (1)–(5) решена численно с применением метода конечных элементов. Характеристика расчетной сетки: общее количество узлов – 4560; общее количество элементов – 9058; граничных элементов – 516.

**Результаты моделирования.** Результаты численных экспериментов (1)–(5) показаны на рисунках 1–2.

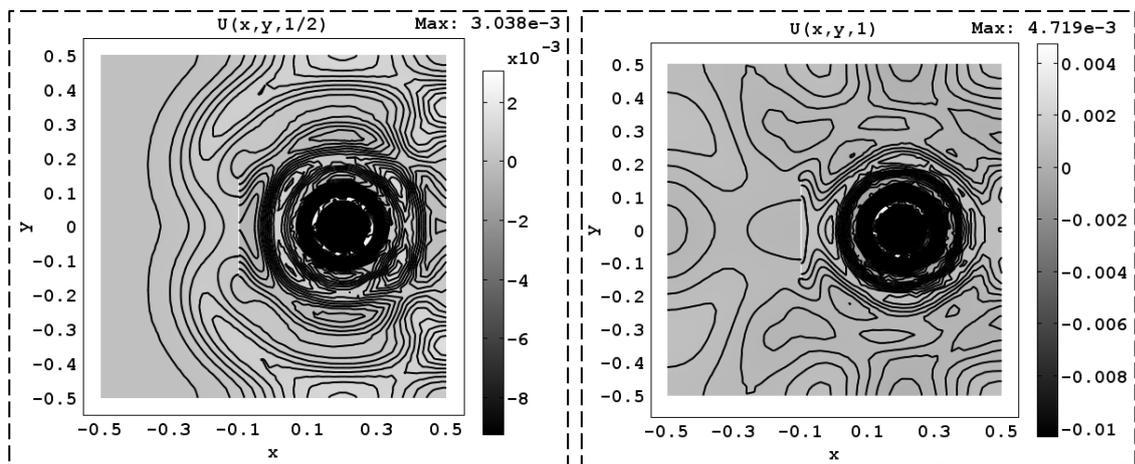


Рис. 1 – Полученное решение задачи (1)–(5) в разные моменты времени  $t$  с учётом дефекта в виде трещины

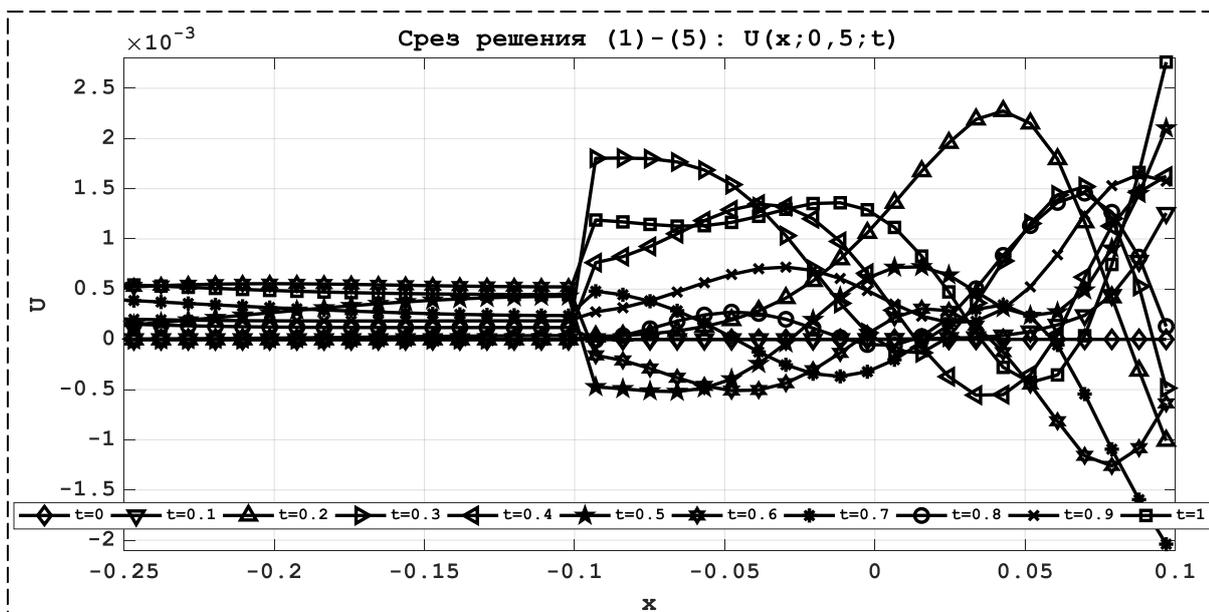


Рис. 2 – Срез решения (1)–(5)  $U(x; 0,5; t)$  в разные моменты времени с учётом прохождения через трещину

Решение (1)–(5) также интересно, когда в рассматриваемом объекте несколько дефектов в виде трещин.

**Выводы.** С применением современных прикладных программных пакетов, таких как MATLAB и COMSOL Multiphysics, можно проводить самые разнообразные вычислительные эксперименты с волновыми процессами. В частности, с помощью математической модели (1)–(5) можно:

- ✓ провести расчет колебательных процессов, которые осуществляются за счёт источника, действующего в течение некоторого момента времени;
- ✓ получить отклик сигнала источника возмущений в конкретных областях пластины с течением времени;
- ✓ изменить положение дефекта (трещины) пластины и источника. Провести многочисленные эксперименты повторно.

Очевидно, что применения чисто математических методов при решении подобных задач недостаточно, поскольку эти задачи не могут быть решены аналитически. Решение задач может быть получено только численно.

Модель задачи (1)–(5) может быть доработана с целью диагностики, контроля и верификации материалов разного происхождения. В таком случае, задача будет иметь обратную постановку и решаться современными методами многомерной оптимизации.

### Литература

1. Головня Б.П., Хайдуров В.В. Деякі швидкісні методи розв'язку нелінійних обернених задач теплопровідності. Збірник наукових праць Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Прикладна математика. Інформатика. Черкаси, 2017. №1–2. С. 71–90.

2. Головня Б.П., Хайдуров В.В. Эффективные методы решения нелинейных обратных задач теплопроводности. Збірник наукових праць Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Прикладна математика. Інформатика. Черкаси, 2014. №2. С. 87–98.

3. Ерофеев В.А., Миллер С.С. Ультразвуковой мониторинг микродефектов в металле. Журнал «Известия Тульского государственного университета», технические науки, машиностроение и машиноведение. 2014. С. 211–217.

4. Хайдуров В.В. Багатосітковий метод вирішення нелінійних обернених задач електро- та теплоенергетики. Збірник наукових праць «Моделювання та інформаційні технології». Київ. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, 2018. №83. С. 117–124.

5. Хайдуров В.В. Моделирование прикладных обратных задач теплопроводности по вычислению коэффициента теплопроводности. Збірник наукових праць «Моделювання та інформаційні технології». Київ. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, 2017. №81. С. 69–77.

## АНАЛІЗ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГІЛЬБЕРТА ПЕРІОДИЧНО НЕСТАЦІОНАРНОГО ВИПАДКОВОГО СИГНАЛУ

**Яворський І.М.**<sup>1,2</sup> – пров. н.с., д.ф.-м.н, проф., [ihor.yavorskyj@gmail.com](mailto:ihor.yavorskyj@gmail.com)

**Юзефович Р.М.**<sup>1,3</sup> – зав. від., д.т.н, доц., [roman.yuzefovych@gmail.com](mailto:roman.yuzefovych@gmail.com)

**Курапов П.Р.**<sup>1,3</sup> – інж. 1 кат., аспірант, [pavlo.r.kurapov@lpnu.ua](mailto:pavlo.r.kurapov@lpnu.ua)

<sup>1</sup> Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, відділ методів і засобів відбору та обробки діагностичних сигналів, Львів, Україна

<sup>2</sup> Технологічно-природничий університет, інститут телекомунікацій, Бидгощ, Польща

<sup>3</sup> Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра прикладної математики, Львів, Україна

У статистичній радіофізиці [1, 2], в теорії зв'язку і телеметрії [3], в технічній діагностиці [4], геофізиці та океанології [5], в статистичній гідроакустиці [6] широко використовується математична модель коливань у вигляді вузькосмугового процесу. Для дослідження їх властивостей використовується перетворення Гільберта

$$\eta(t) = \mathcal{H}\{\xi(t)\} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\xi(\tau)}{t - \tau} d\tau, \quad (1)$$

яке не змінює амплітуду гармонічних складових вхідного сигналу  $\xi(t)$ , а їх фази зсуває на  $-\pi/2$ . На основі (1) введені поняття аналітичного сигналу  $\zeta(t) = \xi(t) + i\eta(t) = \mu(t)e^{i\psi(t)}$ , огибаючої  $\mu(t) = [\xi^2(t) + \eta^2(t)]^{1/2}$ , миттєвої фази  $\psi(t) = \arctg \frac{\eta(t)}{\xi(t)}$ , миттєвої кутової частоти  $\omega(t) = \frac{d\psi(t)}{dt}$  [7].

Проведемо аналіз кореляційних властивостей перетворення Гільберта вузькосмугового періодично нестационарного випадкового сигналу (ПНВС).

Кореляційна функція вузькосмугового ПНВС має вигляд:

$$b_{\xi}(t, u) = B_0^{(\xi)}(u) + C_2^{(\xi)}(u) \cos 2\omega_0 t + S_2^{(\xi)} \sin 2\omega_0 t = B_0^{(\xi)}(u) + \sum_{k=\pm 2} B_k^{(\xi)}(u) e^{ik\omega_0 t},$$

де

$$B_0^{(\xi)}(u) = \frac{1}{2} [R_c(u) + R_s(u)] \cos \omega_0 u + R_{cs}^-(u) \sin \omega_0 u,$$

$$B_2^{(\xi)}(u) = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2} [R_c(u) + R_s(u)] + iR_{cs}^+(u) \right] e^{i\omega_0 u},$$

при цьому  $B_2^{(\xi)}(u) = \frac{1}{2} [C_2^{(\xi)}(u) - iS_2^{(\xi)}(u)]$ , а  $R_c(u)$  і  $R_s(u)$  – кореляційні функції квадратурних складових сигналу,  $R_{cs}^+(u)$  та  $R_{cs}^-(u)$  – парна й непарна частина взаємкореляційної функції  $R_{cs} = R_{cs}^+(u) + R_{cs}^-(u)$ . Величини  $B_k^{(\xi)}(u)$  називаються

кореляційними компонентами [4]. Нульовий кореляційний компонент  $B_0^{(\xi)}(u)$ , що є усередненим за часом значенням кореляційної функції, має всі властивості кореляційної функції стаціонарного випадкового процесу. Його називають кореляційною функцією стаціонарного наближення ПНВС.

Автокореляційні та взаємокореляційні функції сигналу та його перетворення Гільберта пов'язані наступними співвідношеннями :

$$b_{\xi\eta}(t,u) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{b_{\eta}(t+u,\tau)}{\tau+u} d\tau, \quad b_{\xi}(t,u) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{b_{\xi\eta}(t+u,\tau)}{\tau+u} d\tau,$$

$$b_{\eta\xi}(t,u) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{b_{\xi}(t+u,\tau)}{\tau+u} d\tau, \quad b_{\eta}(t,u) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{b_{\eta\xi}(t+u,\tau)}{\tau+u} d\tau.$$

Таким чином, отримані і проаналізовані співвідношення, які пов'язують кореляційні характеристики вузькосмугового ПНВС  $\xi(t)$  та його перетворення Гільберта  $\eta(t)$ . Показано, що нульові кореляційні компоненти сигналу та його перетворення Гільберта є рівними між собою, а нульові взаємокореляційні компоненти відрізняються тільки знаком і є непарними функціями зсуву. Другі кореляційні компоненти сигналу  $\xi(t)$  і його перетворення Гільберта  $\eta(t)$  є протилежними за знаком, а другі взаємокореляційні компоненти – симетричними  $B_2^{(\xi\eta)}(u) = B_2^{(\eta\xi)}(u)$  та пов'язані з другим кореляційним компонентом сигналу формулою  $B_2^{(\xi\eta)}(u) = -iB_2^{(\xi)}(u)$ . Встановлені властивості слід використовувати при аналізі вібраційних сигналів.

### Література

1. Ритов С.М. Введение в статистическую радиофизику, ч. I. М. : Наука, 1976. 495 с.
2. Deutsch R. Nonlinear transformations of nonlinear processes. New York : Prentice Hall, Englewood, 1962. 315 p.
3. Бендат Дж, Пирсон А. Прикладной анализ случайных данных. М. : Мир, 1989. 546 с.
4. Yavorskyi I. Mathematical models and analysis of stochastic oscillations. Lviv : Karpenko Physico-Mechanical Institute, 2013. 804 p.
5. Рожков В. А. Методы вероятностного анализа океанологических процессов. Л. : Гидрометеиздат, 1974. 280 с.
6. Берне Л. Подводная акустика и обработка сигналов. М. : Мир, 1985. 486 с.
7. Javorskyj I. M., Kurapov P. R., Yuzefovych R. M. Covariance characteristics of narrowband periodically non-stationary random signals // Mathematical Modeling and Computing. 2019. 6, 2. P. 276–288.

## **СЕКЦІЯ 6**

### **Захист інформації та телекомунікаційні системи**

## КОНЦЕПЦІЇ РОЗВИТКУ БЕЗПРОВІДНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ОХОРОННИХ ФУНКЦІЙ ЦИФРОВОГО БУДИНКУ

**Андрєєва О.В.**, доцент Київського політехнічного інститут  
ім.Ігоря Сікорського, Київ, Україна  
E-mail: [elvian44@gmail.com](mailto:elvian44@gmail.com)

В залежності від специфіки охоронної системи доцільно обирати найбільш прийнятий варіант стосовно радіусу дії, швидкості та надійності передавання даних. Вибір починається з порівняння можливостей відомих технологій, таких як: Wi-Fi/IEEE802.11; Wi-Max/IEEE802.16; Bluetooth/IEEE 802.15.1; Wireless USB; ZigBee/IEEE15.4 та їх модифікацій. Кожна з технологій має певні особливості та переваги, які визначають вибір. Іноді доцільно поєднувати переваги різних технологій в одній системі, тобто створювати, так званий, гібридний варіант. При реалізації охоронних функцій цифрового будинку пріоритетними показниками зазвичай виступають швидкість і максимальні відстані для надійного зв'язку.

Серед широко відомих представників родини IEEE 802.11 найбільш цікавим є варіант 802.11b, який забезпечує передавання даних зі швидкістю  $V=11$  Мбіт/с (14 каналів у діапазоні 2,4 ГГц) на відстані - від кількох до десятків кілометрів. Швидкість залежить від рівня перешкод, виду обладнання і стану середовища.

Безпроводні мережі WLAN (Wireless LAN) базуються на стандарті 802.11b. Конструктивні особливості приладів WLAN відповідають стандарту LXI. Переваги: веб-інтерфейс, рівноправний обмін повідомленнями тощо. Активне з'єднання між сотами здійснюється без завад, тобто користувачі при переміщенні між точками доступу у зоні покриття мережі Wi-Fi розриви з'єднань не відчують. Якщо потрібна висока швидкість передавання даних, то пріоритетним може стати варіант 802.11g, який забезпечує  $V=22$  Мбіт/с у діапазоні 2,4 ГГц. Цей варіант повністю сумісний з 802.11b, але використовує три нових методи кодування для збільшення швидкості. Обладнання має відмітку Wi-Fi Compatible (Wireless Fidelity).

Зарубіжним аналогом стандарту IEEE 802.11 та одночасно його конкурентом на ринку вважають HiperLAN (використовують зазвичай у європейських країнах). Працює на частоті 5 ГГц і має два варіанти:

- HiperLAN1 (швидкість до 20 Мбіт/с ;
- HiperLAN2 (швидкість до 54 Мбіт/с).

Характеристики HiperLAN2 дещо краще ніж у стандарта 802.11. Основне призначення HiperLAN2 - дані, звук та відеопересилання. Може взаємодіяти з іншими швидкісними мережами, у тому числі з варіантом зв'язку 3G.

Технологія Bluetooth вважається по ряду показників компромісним варіантом: дальність - менша ніж у 868/434 МГц; швидкість - менша порівняно з Wi-Fi; економічні показники - нижчі порівняно з ZigBee. Між іншим цей варіант забезпечує надійну роботу пристроїв у ближньому радіусі дії до 30м (при певних умовах до 100м). Працює у багатопунктовому режимі (не завжди у зоні прямої видимості). Стандарт Bluetooth може забезпечити виконання таких функцій, як охорона периметра території; дистанційне керування приладами цифрового будинку та багато іншого.

Технологія ZigBee знайшла найбільш широке використання при реалізації функції цифрового будинку (не тільки охоронних, але й сервісних). ZigBee став лідером серед інших технологій завдяки високій надійності передавання даних, яка обумовлена комірчастою топологією побудови мережі. Швидкість передавання даних є цілком достатньою для реалізації охоронних функцій. Для багатьох пристроїв систем з ZigBee можна застосовувати батарейне живлення. Основні функції системи ZigBee – це моніторинг стану цифрового будинку (компонентів вимірювальних каналів).

Тільки ZigBee-пристроями можна керувати з телефону без інтернету (через хаб). Реалізація радіоканалів у діапазоні 2,4 ГГц (число каналів від 1 до 16). Показники швидкості від 20 до 250 Кбіт/с при відстанях до 200м.

Основний і єдиний недолік ZigBee пов'язаний з питаннями сумісності пристроїв від різних виробників. Для ZigBee це стає іноді складною і затратною проблемою (потрібні додаткові пристрої).

Надійність функціонування сучасної системи повинна забезпечуватися простотою поєднання датчиків, сповіщувачів, виконуючих пристроїв та іншою обладнання від різних фірм-виробників. Вагомими перевагами сучасних систем цифрового будинку доцільно вважати не тільки вільний вибір компонентів, але й застосування різних стандартів зв'язку для виконання основних функцій. Ці переваги значно зменшують витрати на інтелектуальне обладнання системи. Наприклад, якщо система ZigBee, завдяки датчикам сповіщувачам, виявила порушення у контрольованому радіусі дії, вона самостійно може з'єднатися з мережею 802.11 і задіяти додатково головний комп'ютер та охоронну службу.

Відомі виробники інтелектуального обладнання (Xiaomi, Apple, Philips та інші) постійно розширюють асортимент ZigBee-пристроїв, завдяки чому загальна ціна обладнання системи іноді може виявитися у 2-3 рази менше порівняно, наприклад, з європейським варіантом Z-Wave.

Технологія Z-Wave розповсюджена здебільшого у європейських країнах, але в Україні ситуація поки що не дозволяє активно втілювати дорогі проекти з технологією Z-Wave. Працює у дуже комфортному і безпечному для людини діапазоні частот 1 ГГц (на відміну від перевантаженого 2,4 ГГц). Доцільно використовувати для об'єктів до 500м<sup>2</sup>. Призначення: дистанційне керування пристроями за допомогою простих команд. Компоненти мають низьке

енергоспоживання.

Певний інтерес для фахівців представляє також нова технологія Insteon (продукт компанії “Smart Labs”). Ця технологія призначена забезпечити найбільш високі показники надійності і швидкості передавання даних. Технологія базується на одночасному використанні одразу двох варіантів (провідного та безпроводного) при побудові каналу передавання даних. Ця технологія сприймається фахівцями дуже обережно. Не зважаючи на досягнення, вона поки що не знайшла свою нішу для застосування.

В останні роки перспективи розвитку охоронних систем пов'язують із застосуванням гібридних варіантів, що об'єднують переваги різних технологій: - варіантів побудови ліній зв'язку; - поєднання для сумісної роботи аналогових і цифрових камер прихованого спостереження (як нерухомих, так і поворотних); - застосування різних варіантів живлення пристроїв (у тому числі і засобів їх дистанційного підживлення).

Основною проблемою Wi-Fi з'єднань вважають обмежений радіус дії. Якщо відстані недостатньо, то проблему можна вирішити за допомогою модулів XBee Wi-Fi. Така система поєднує переваги безпроводних рішень локальних мереж та інтернету. З'єднання по типу моста UART-Wi-Fi може значно розширити встановлення надійного зв'язку на великі відстані. Цифрові модулі XBee-Wi-Fi компанії DIGI мають ряд переваг, що дозволяють швидко розгонути локальну бездротову мережу (або створити послідовний шлюз). При цьому з'єднання встановлюється автоматично. Основне призначення модулів XBee Wi-Fi – це встановлення зв'язку з точками доступу у стандартних IEEE 802.11 бездротових мереж.

Лідер у розробці безпроводних модулів компанія Broadcom підготувала стандарт зв'язку, який має назву Wi-Fi 802.11ac. Основна перевага – це збільшення радіусу дії до 200м завдяки технології «формування променя»(оптимізація передавання даних у частотному діапазоні 5 ГГц).

В цілому концепції розвитку безпроводних рішень для охоронних систем цифрового будинку пов'язані з використанням гібридних варіантів побудови каналів збору даних, нових модулів Wi-Fi, доступу до сервісів the Cloud. Ключові слова: цифровий будинок, безпроводний зв'язок.

## **СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ КИБЕРУГРОЗ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

**Бойченко О.В.**, ТНУ имени В.И. Вернадского, [bolek61@mail.ru](mailto:bolek61@mail.ru)

По оценкам специалистов, в настоящее время именно мобильные устройства являются сегодня отдельной «головой болью» для корпоративных ИТ-инфраструктур.

Использование личных смартфонов и планшетов в рабочих целях допустимо уже в абсолютном большинстве организаций, однако надлежащее управление этими устройствами и включение их в общую систему информационной безопасности компании практикуются далеко не везде. Рискуют подвергаться прежде всего смартфоны и планшеты на базе Android, на которую сегодня нацелено 99% вредоносного ПО, специализирующегося на мобильных устройствах [1].

Однако, несмотря на блокирование более 6 млрд. вредоносных атак на компьютеры и мобильные устройства, количество атак на смартфоны и планшеты продолжает возрастать (зафиксировано свыше 3,5 млн. атак на платформу Mac OS X, которую часть пользователей до сих пор считают неуязвимой. Кроме того, около 1,5 млрд. инцидентов пришлось на устройства с мобильной ОС Android, а за минувший год число подобных атак увеличилось в четыре раза) [2].

Основным источником киберугроз является сеть Интернет (ежегодно эксперты выявляют более 123 млн. уникальных вредоносных файлов, пришедших из Сети).

К этому стоит добавить еще почти 2 млн «зловредов», которые попадают на устройства по локальным источникам (флешки, съемные диски, внутренние корпоративные сети, файловые серверы и т. д.), при ежедневной обработке специалистами более 325 тыс. образцов нового вредоносного ПО, которое попадает на гаджеты пользователей через уязвимости в легальном ПО и при помощи методов социальной инженерии, а также организацией проведения злоумышленниками таргетированных атак, которые становятся все более распространенным явлением [3].

Следует отметить, что уязвимости рано или поздно возникают в любом программном обеспечении, что, в первую очередь, связано с ошибками при разработке программы, а также устаревание версий или отдельных элементов кода. Однако, основной проблемой является не наличие уязвимости, а ее своевременное обнаружение и закрытие.

Так, к примеру, ошибка Heartbleed позволяет злоумышленнику читать содержимое памяти и перехватывать личные данные в системах, использующих уязвимые версии протокола OpenSSL, который широко применяется для защиты данных, передаваемых через Интернет (в том числе информации, которой пользователь обменивается с веб-страницами, электронных писем, сообщений в интернет-мессенджерах), и данных, передаваемых по каналам VPN (Virtual Private Networks), что определяет масштабность потенциального ущерба от этой уязвимости [4].

В отличие от уязвимостей, которые киберпреступники эксплуатируют, не затрагивая напрямую пользователей, метод социальной инженерии предполагает контактирование с потенциальной жертвой. Путем обмана, мошенничества, игры на чувствах пользователей злоумышленники вынуждают человека самостоятельно загружать вредоносный файл на компьютер или вводить нужную им информацию на фишинговых сайтах.

Механика этих атак характеризуется тщательной продуманностью: после того как жертва заселялась в отель и подключалась к взломанной Wi-Fi-сети, указывая свою фамилию с номером комнаты, ей автоматически предлагалось скачать обновление для популярного ПО – GoogleToolbar, Adobe Flash или Windows Messenger.

В действительности же это действие приводило к установке вредоносного ПО, которое и помогало киберпреступникам похищать конфиденциальные данные [5].

Количество организаций, ставших жертвами целенаправленных кибератак и кампаний кибершпионажа, увеличилось в 2019 г. почти в 2,5 раза. За прошедший год почти 4,5 тыс. организаций по меньшей мере в 55 странах, в том числе в России, стали целью киберпреступников.

Кража данных произошла как минимум в 20 различных секторах экономики, включая государственные, телекоммуникационные, энергетические, исследовательские, промышленные, здравоохранительные, строительные и другие компании. Киберпреступники крали пароли, файлы, геолокационную информацию, аудиоданные, делали снимки экранов и контролировали веб-камеры.

Скорее всего, в некоторых случаях эти атаки имели поддержку государственных структур, другие же с большей вероятностью осуществлялись профессиональными группировками кибернаемников.

Таким образом, общая характеристика проблемы современных аспектов киберугроз представляется последствиями таргетированных операций и кампаний кибершпионажа, которые неминуемо заканчиваются взломом и заражением корпоративной сети, нарушением бизнес-процессов, утечкой конфиденциальной информации, в частности интеллектуальной собственности.

Детализация указанной проблемы позволяет выделить наиболее острые углы киберугроз и, собственно, создать условия для решения задач противодействия современным деструктивным вызовам, связанным с киберпреступностью:

1. Недооценка количества существующего на сегодняшний день вредоносного ПО абсолютным большинством российских компаний (91%), наряду с тем, что число «зловредов» постоянно увеличивается, а целенаправленность воздействия совершенствуется (таргетированные атаки). Среди внешних киберугроз наибольшее опасение у бизнеса по-прежнему вызывает вредоносное ПО (77%), затем следует проблема спама (74%), фишинговые атаки (28%), корпоративный шпионаж (26%) и сетевые вторжения (23%), а также распространение DDoS-атак, кража мобильных устройств и крупного оборудования (финальная сумма ущерба для крупных компаний в среднем составила 20 млн. руб. за каждую успешную кибератаку, а для предприятий среднего и малого бизнеса – почти 800 тыс.);

2. Рост инцидентов, обусловленных внутренними угрозами организаций (87%). В первую очередь, это уязвимости в ПО, затем случайная или намеренная утечка данных, утечка данных через мобильные устройства, что связано с потерей мобильных устройств сотрудниками и мошенничеством работников (20%);

3. Несовершенство разработанных политик безопасности, ориентированных на запрещение, отсутствие соответствующих инструментов контроля, которые позволяют гарантировать соблюдение всех требований. При этом, прежде всего, следует выделить ошибочное акцентирование типов информации, интересующей злоумышленников. Так, для компании наиболее важной является информация о клиентах, финансовых и операционных данных, интеллектуальной собственности, а также информация по анализу деятельности конкурентов, платежная информация, персональные данные сотрудников и данные о корпоративных счетах в банках. При этом киберпреступники чаще всего крадут внутреннюю операционную информацию компаний (56%), персональные данные сотрудников (26%) и финансовые данные (19%) [6].

Последующий анализ позволяет сформулировать наиболее эффективные меры защиты от киберугроз:

1. Антивирусное ПО наряду с организацией защиты от таргетированных атак;

2. Построение комплексной системы защиты, охватывающей всю ИТ-инфраструктуру предприятия для предотвращения утечки данных и противодействия DDoS-атакам, делающим недоступными веб-ресурсы компании.

3. Управление обновлениями для своевременного закрытия уязвимостей в ПО наряду с практикой контроля приложений, позволяющей ограничить

использования некритичных для бизнеса программ, избегая ряда уязвимостей [7].

Таким образом, подводя итог, можно заметить, что надежная защита от всего многообразия киберугроз базируется на трех важных составляющих:

1. Использование современного качественного защитного ПО;
2. Применение политик безопасности, регулирующих права доступа пользователей к различной информации и сервисам;
3. Обучение персонала правилам работы с конфиденциальной информацией.

### Литература

1. Бойченко О.В. Виды оценок уязвимости/ О.В. Бойченко, А.И. Мазина // В сборнике «Актуальные проблемы и перспективы развития экономики », 18 Всероссийская с международным участием научно-практическая конференция. – Симферополь: КФУ им. В.И Вернадского, 2019. – С. 241-242.

2. Бойченко О.В. Новые виды мошенничества в цифровом пространстве/ О.В. Бойченко // В сборнике «Актуальные проблемы и перспективы развития экономики », 18 Всероссийская с международным участием научно-практическая конференция. – Симферополь: КФУ им. В.И Вернадского, 2019. – С. 10-12.

4. Бойченко О.В. Системы обнаружения вторжений в комплексе информационной безопасности банков/ О.В. Бойченко, И.В. Гавриков// Информация и космос. С-Пб., 2019. - №1. – С. 72-76.

5. Бойченко О.В. Информационная безопасность цифровизации экономики Республики Крым/ О.В. Бойченко, А.В. Гунько// Ученые записки КФУ им. В.И. Вернадского (Экономика и управление). - Симферополь, 2019. – Т5 (71). - №2. – С. 17-25.

6. Бойченко О.В. Кибербезопасность в цифровизации экономики/ О.В. Бойченко// В сборнике «Теория и практика экономики и предпринимательства», 16 Всероссийская с международным участием научно-практическая конференция. – Симферополь: КФУ им. В.И Вернадского, 2019. – С. 7-10.

7. Бойченко О.В. Комплекс рекомендаций для банковской сферы по защите от кибератак/ О.В. Бойченко // В сборнике «Цифровая индустрия 4.0: тенденции 2025», Всероссийская с международным участием научно-практическая конференция. – С-Пб., 2019. – С. 545-549.

8. Бойченко О. В. Решение проблем сетевой безопасности на уровне Ddos/ О. В. Бойченко // Проблемы информационной безопасности / Труды IV Межд. науч.-практ. конф. Симферополь-Гурзуф. 15-17 февраля 2018. – Симферополь: ИП Зуева Т.В., 2018. – С. 4-7.

## ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ НАБЛИЖЕНЬ СТЕПАНЦЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ШТУЧНИХ ВТРУЧАНЬ У СИГНАЛАХ РІЗНОЇ ПРИРОДИ

Жук І.С., аспірант, НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[ivan.sergeyevich.zhuk@gmail.com](mailto:ivan.sergeyevich.zhuk@gmail.com)

Чертов О.Р., проф., НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», [chertov@i.ua](mailto:chertov@i.ua)

Давньоримський філософ Сенека-молодший у своєму останньому творі «Моральні листи до Луцілія» писав, що «все минає з тим, аби повернутися» [1]. І, дійсно, багато природніх явищ та процесів є періодичними: добові обертання Землі навколо своєї осі, сезонні обертання Землі навколо Сонця, цикли сонячної активності, зміна протягом місячної доби припливів та відпливів тощо. З цим наряду або опосередковано пов'язана певна періодичність багатьох процесів, як біологічних (сезонна міграція птахів чи впадання у сплячку звірів, циркадні ритми у рослин, тварин і людей тощо), так і за деякими припущеннями – навіть соціальних [2] (хвилі Кондратьєва, цикли Чижевського). У цій статті будемо виходити із гіпотези, що часові ряди, які описують, наприклад, соціальні дії певної спільноти (число реакцій у соціальних мережах тощо) також мають певну природню структуру і періодичність, та поставимо задачу формування математичного апарату, який би дозволив виявляти штучні втручання у відповідні процеси.

Згідно з відомою лемою Рімана-Лебега для будь-якої інтегрованої функції  $f(t)$  коефіцієнти її ряду Фур'є  $a_k \rightarrow 0, b_k \rightarrow 0$ , коли  $k \rightarrow +\infty$ . Обмежимося розглядом парних періодичних функцій. Для таких функцій коефіцієнти ряду Фур'є  $b_k = 0 \forall k$ . Числова послідовність  $a_k$  є зрушенням на множину натуральних чисел певної функції  $a(x)$  дійсного аргументу  $x$ . Серед функцій  $a(x)$ , що визначені при  $x > 0$ , виділяють клас функцій  $\mathfrak{M}$ , що задовольняють таким умовам [2]:  $a(x) \rightarrow 0$  при  $x \rightarrow +\infty$ ;  $a''(x) \geq 0 \forall x \geq 1$ .

Для таких функцій можна ввести функції-характеристики Степанця [3]:

$$\eta(x; a) = a^{-1} \left( \frac{1}{2} a(x) \right), \quad \mu(x; a) = \frac{x}{\eta(x; a) - x}, \quad \alpha(x) = \frac{a(x)}{x|a'(x)|}.$$

Із класу функцій  $\mathfrak{M}$  виділяють клас  $\mathfrak{M}_C$ , який характеризується обмеженістю функцій:  $0 < n_1 \leq \mu(x; a) \leq n_2$  [3].

Наприклад, функції  $a(x) = \frac{C}{x^r}$ , де  $r > 0, C$  – дійсне число, які визначені при  $x > 0$ , входять до класу  $\mathfrak{M}_C$ . Для них  $\mu(x; a) = \frac{1}{r\sqrt{2}-1}, \alpha(x) = \frac{1}{r}$ , тобто при умові, що задана таблична функція  $a(x)$  і відомо, що  $a(x) \sim \frac{C}{x^r}$ , то за допомогою функцій-характеристик можна однозначно визначити степінь  $r$  цієї функції.

Функції  $\eta(x), \mu(x; a), \alpha(x)$  можна застосувати для аналізу часових рядів  $f(t)$  у таких випадках:

- 1)  $f(t)$  є незростаючою функцією вигляду  $\frac{C}{x^r}$ ;
- 2)  $f(t)$  є незростаючою функцією, окремі частини якої є функціями вигляду  $\frac{C}{x^r}$ ;
- 3)  $f(t)$  є періодичною парною функцією, коефіцієнти  $a_k \sim \frac{C}{x^r}$ .

Якщо у вище наведені часові ряди будуть введені зміни, що спотворюватимуть зазначену природу часового ряду, то виділені функції-характеристики Степанця однозначно покажуть ці зміни.

Для виявлення змін у першому і другому випадках як функцію  $a(x)$  потрібно розглядати функцію, що одночасно буде мажоруючою для  $f(t)$  та задовольнятиме умовам належності до класу функцій  $\mathfrak{M}$ . У такому разі характеристики функції  $a(x)$  дозволять виявити зниження амплітудних природних значень часового ряду  $f(t)$  у певні моменти часу.

Для виявлення змін у третьому випадку функцію  $a(x)$  потрібно розглядати як функцію, яка одночасно буде мажоруючою для послідовності  $a_k$  та задовольнятиме умовам належності до класу функцій  $\mathfrak{M}$ . В такому разі характеристики функції  $a(x)$  дозволять виявити зниження/завищення коефіцієнтів певних частот часового ряду або додавання нових частот, які в природньому часовому ряді були майже відсутні (значення їх коефіцієнтів були достатньо близькими до 0).

Для прикладу розглянемо таку функцію:

$$f(t) = \sum_{k=1}^{60} a_k \cos(kt), a_k = \begin{cases} 2k^{-0.5}, & k = 1 \dots 20; \\ 2k^{-0.7}, & k = 21 \dots 40; \\ 2k^{-1}, & k = 41 \dots 60. \end{cases}$$

Графік функції  $f(t)$  та її характеристик  $a(x)$ ,  $\alpha(x)$ , обчислених для числової послідовності  $a_k$ , показані на рис. 1. Оскільки для підрахунку функції  $a(x)$  використовується чисельне обчислення похідної, в околі двох точок стику  $x = 20$  та  $x = 40$  спостерігаються значні відхилення від теоретичних значень цієї функції, але, в цілому, на відповідних проміжках змінної  $x$  значення  $\alpha(x)$  близькі до теоретичних. Таким чином, функція  $\alpha(x)$  як стала на відповідних проміжках дає змогу відновити на них вигляд функції  $a(x)$ .

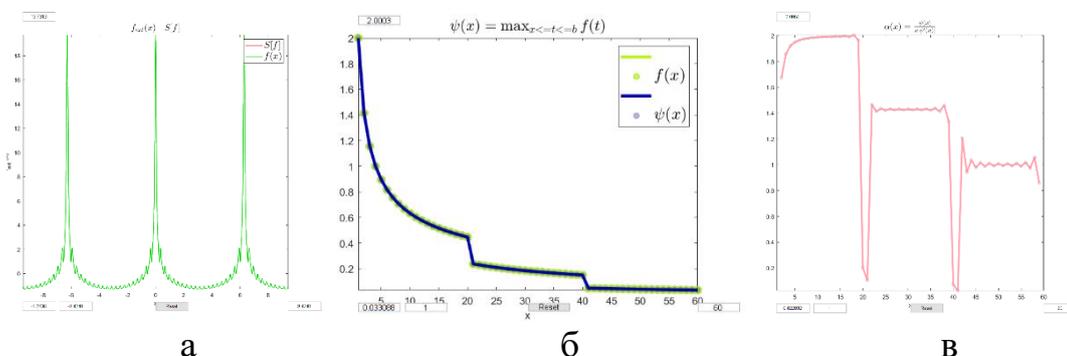


Рисунок 1. Графік функції  $f(t)$ (а) та її характеристик  $a(x)$  (б) і  $\alpha(x)$  (в)

Тепер розглянемо випадок видалення певних частот з цієї функції, наприклад,  $a_k = 0, k = 21 \dots 40$  (рис. 2а та 2б). Оскільки на проміжку  $[21; 40]$  частотні коефіцієнти є меншими за частотні коефіцієнти на сусідніх проміжках, то як функцію  $a(x)$ , що покриватиме числову послідовність  $a_k$  на цьому проміжку, потрібно взяти таку функцію, яка спадатиме від найменшого значення  $a_k$  з попереднього інтервалу  $x \in [1; 20]$  до найбільшого значення з наступного інтервалу  $x \in [41; 60]$ . Така функція буде відрізнятися від функцій вигляду  $\frac{C}{x^r}$  наявністю зміщень відносно осей координат. Для таких функцій характеристика  $\alpha(x)$  не є функцією-сталою, що й можна побачити на рис. 2б. У випадку завищення частот (рис. 2в та 2г) в інтервалі  $x \in [21; 40]$  у функції  $\alpha(x)$  спостерігається аналогічна ситуація, але у цьому випадку відповідні зміни починаються ще на попередньому інтервалі  $x \in [1; 20]$ . Це викликано тим, що функція  $a(x)$  є функцією, покриваючою всю послідовність частотних коефіцієнтів  $a_k$ .

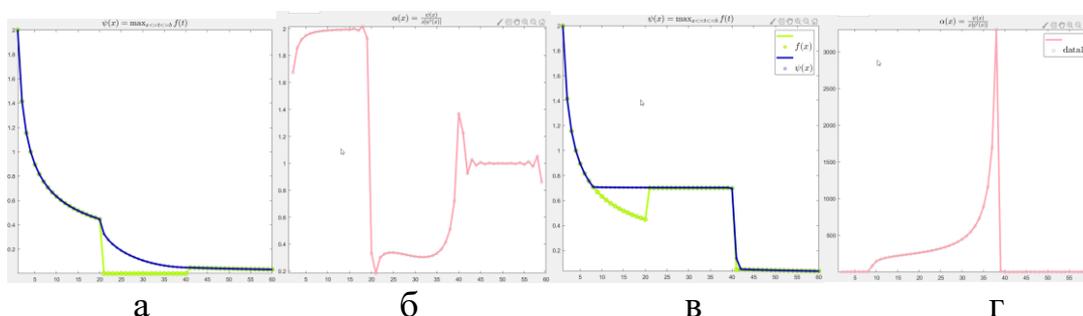


Рисунок 2. Характеристики числової послідовності  $a_k$  для випадку видалення певних частот (а, б) та завищення коефіцієнтів цих частот (в, г)

Отже, функції  $a(x) \sim \frac{C}{x^r}$ ,  $\mu(x; a)$ ,  $\alpha(x)$  дозволяють виявляти зміни у частотній області часового ряду, такі, як порушення періодичності, штучне завищення або видалення певних частот з періодичного процесу. Для виявлення амплітудних змін часового ряду потрібно додати до апарату функцій-характеристики, які дозволяють працювати з іншими типами функцій.

### Література

1. Сенека. Моральні листи до Луцілія. – К.: Основи, 1999. – 608 с.
2. Кузьменко В. П. Прогнозування циклів соціально-політичного та еколого-економічного розвитку з оцінкою впливу на них змін сонячної активності // Наукові записки НаУКМА. Економічні науки. – 2019. – Т. 4, Вип. 1. – С. 54-59.
3. Степанец А. И. Несколько утверждений для выпуклых функций // Укр. мат. журн. – 1999. – 51, №4. – С. 688-702.
4. Степанец А. И. Методы теории приближений : В 2 ч. – К.: Ин-т математики НАН Украины, 2002. – Ч. I. – 427 с.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ BLOCKCHAIN З ВИКОРИСТАННЯМ ПІДХОДІВ PROOF OF WORK, BYZANTINE FAULT TOLERANCE ТА GOSSIP

**Орлова М.М.**, к.т.н., доцент, НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[mariia.orlova@gmail.com](mailto:mariia.orlova@gmail.com)

**Коркішко А.О.**, студент, НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[korkishko.nastya2016@gmail.com](mailto:korkishko.nastya2016@gmail.com)

Життя людей пов'язане з фінансовими операціями, проте в даний час існують не всім звичні грошові системи, тобто валюти, які існують в інтернеті. Головною такою криптовалютою залишається протягом довгого часу BitCoin, яка базується на розподіленій книзі Blockchain.

Метою роботи є проведення аналізу технології Blockchain в порівнянні з Proof of Work, Byzantine Fault Tolerance та Gossip, визначення її переваг, недоліків та областей найбільш ефективного використання.

Blockchain - це основна технологія цифрової криптовалюти BitCoin. Blockchain містить записи перевірених, майже усіма учасниками, та виконаних транзакцій. Він ґрунтується на ідеї однорангових мереж - peer-to-peer (P2P), які складаються з групи пристроїв, які зберігають та обмінюються файлами. Кожен учасник виступає як індивідуальна одиниця, має таку ж потужність, як і всі члени мережі та виконує ті ж завдання, що і інші.

Тобто, однорангова мережа надає універсальний набір даних, книгу транзакцій, яка є спільною для всіх учасників, та їй можна довіряти. В ній міститься зашифрована копія інформації, яка зберігається на кожному вузлі мережі. Блоки зберігають інформацію про транзакції, такі як дата, час та сума, а також імена учасників операції. Всі дані є захешованими. Хеш – це криптографічний код, створений спеціальними алгоритмами. Один блок на блокчейн Bitcoin може фактично зберігати до 1 МБ даних. Залежно від розміру транзакцій, це означає, що в одному блоці може бути проведено кілька тисяч транзакцій.

Переваги технології Blockchain полягають в наступному.

- Економія часу: для розрахунків не потрібна перевірка центрального органу, що робить процес швидшим і дешевшим.
- Економія витрат: мережа Blockchain зменшує витрати кількома способами: не потрібно сторонніх підтверджень, учасники можуть безпосередньо ділитися активами, посередники скорочуються, зусилля щодо транзакцій зведені до мінімуму, оскільки кожен учасник має копію спільної книги.
- Більш жорстка безпека: ніхто не може вдаватись до даних Blockchain, якими вони поділилися між мільйонами учасників. Система захищена від кіберзлочинів та шахрайства.

Недоліки існуючої системи транзакцій:

- готівкові кошти можна використовувати лише в операціях з невеликою сумою на місцях;
- значний час очікування на обробку транзакцій;
- необхідність третьої сторони для перевірки та виконання транзакції робить процес складним;
- якщо центральний сервер виходить з ладу, вся система стає несправною, включаючи учасників.

Два найпопулярніші підходи до blockchain - це блокові ланцюги, які не мають дозволів, засновані на Proof of Work та дозволені візантійським консенсусом або Byzantine Fault Tolerance.

Різниця полягає в тому, що в Proof of Work учасники змагаються, розгадуючи криптозадачі, за винагороду, а в Byzantine Fault Tolerance працюють, довіряючи учасникам. Головними проблемами, які має консенсус Proof of Work, є наступні.

- Дуже велика трата електроенергії.
- Низька швидкість транзакцій.
- Досить висока затримка транзакцій.

В Byzantine Fault Tolerance найважливішою проблемою є той факт, що членство є закритим. Тому для того, щоб вирішити проблеми Proof of Work та Byzantine Fault Tolerance було запропоновано використання іншого підходу, який створено на основі “пліток” (gossip).

Gossip - це підхід, якій використовується в послідовних системах, та є досить популярним в NoSQL Key-Value, таких як Dynamo, Cassandra тощо. Протокол Gossip має фіксовану кількість учасників у групі. В якийсь момент, учасник даної групи випадковим чином обирає інших учасників та обмінюється станами, зазвичай це відбувається з якимсь періодом. Даний обмін проходить до тих пір, поки усі учасники матимуть один єдиний стан на всіх. Ефективність даного підходу можна довести, за допомогою формули  $O(\log N)$ , де вона означає кількість пліток, які надішлються,  $N$  - кількість учасників, враховуючи, навіть, їх відмову та втрату повідомлень.

Отже, попри всі недоліки, переваги blockchain є більш необхідними для того, щоб зробити ділові та державні операції більш точними, ефективними та, що дуже важливо, безпечними, що поступово вдається втілити в життя.

### Література

1. Melanie Swan. Blockchain: Blueprint for a New Economy. — O'Reilly Media, Inc., 2015. — 152 с.
2. Pedro Franco. The Blockchain. Understanding Bitcoin: Cryptography, Engineering and Economics. — John Wiley & Sons, 2014. — 288 с.

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ BLOCKCHAIN

**Сміюн І.В.**, студент, НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[innasmiyun@gmail.com](mailto:innasmiyun@gmail.com)

**Орлова М.М.**, к.т.н., доцент, НТУ України «КПІ ім. Ігоря Сікорського»,  
[mariia.orlova@gmail.com](mailto:mariia.orlova@gmail.com)

З появою засобів інформаційних комунікацій між людьми та сприйняттям того, що інтересам осіб чи спільнот може бути завдана шкода шляхом впливу на засоби інформаційних комунікацій з'явилося і поняття забезпечення інформаційної безпеки.

Сучасні інформаційні системи складні і, отже, небезпечні вже самі по собі, навіть без активності зловмисників, у них постійно виявляються нові вразливі місця в програмному забезпеченні. У зв'язку з цим необхідно постійно контролювати надзвичайно широкий спектр апаратного і програмного забезпечення, численні зв'язки між компонентами та знаходити шляхи вирішення проблем.

Метою роботи є проведення аналізу та оцінка особливостей технології Blockchain у сфері забезпечення інформаційної безпеки.

Інформаційна безпека – це збереження та захист інформації, а також її важливих елементів, у тому числі і системи та обладнання, призначеного для використання, заощадження та передачі цієї інформації, від несанкціонованого доступу, використання, розкриття, спотворення, зміни, дослідження, редагування або ж знищення. Забезпечення інформаційної безпеки включає у себе повний комплекс заходів по забезпеченню цілісності та конфіденційності інформації за умови її доступності для користувачів, що мають відповідні права [1].

Blockchain – це розподілена база даних, що складається з безлічі блоків інформації створених таким чином, що їх несанкціонована модифікація чи видалення практично неможливе [2]. Інформація у блоках даних захищена за допомогою криптографічних методів.

Основною особливістю технології є те, що на її основі будуються системи з незмінними цифровими реєстрами, що реалізуються розподіленим способом (тобто, без використання централізованого сховища) і зазвичай не мають централізованого управління. Те, що додається в блоки, не може бути видалено і може бути розглянуто всіма учасниками блокчейну (приватний блокчейн) або ким завгодно (публічний блокчейн). Це гарантує, що ніякі зміни в мережі блокчейн не можуть бути незаміченими. Децентралізація, незмінність, прозорість та використання криптографії роблять цю технологію ефективним рішенням для забезпечення інформаційної безпеки.

Децентралізація блокчейна значно знижує ймовірність фальсифікації баз даних. Спосіб, яким хакерам зазвичай вдається отримати інформацію, полягає в

атаці того місця, де збережено всі дані – мейнфрейму. У блокчейні вся інформація розподілена по мережі, а тому не існує єдиного місця, яке необхідно атакувати. Замість цього, хакерам необхідно атакувати окремо інформацію у кожному блоці, а кожна зміна відображається усім учасникам блокчейну. Враховуючи ще те, що кожна зміна повинна бути затверджена більшістю учасників, така атака потребує занадто великих комп'ютерних можливостей та є практично неможливою.

Усі дані у блокчейні знаходяться у полі зору спільноти. Технологія забезпечує прозорість системи завдяки відкритій базі даних, усю інформацію легко перевірити та відстежити. Ймовірність того, що будь-які зміни можуть залишитись непоміченими, практично дорівнює нулю.

Після створення блоку його неможливо видалити, скопіювати чи змінити. У разі виявлення помилки у записі про транзакції додається нова транзакція з виправленням, тобто, будь-які, шахрайські маніпуляції не зможуть зникнути з мережі.

Блокчейн у значній мірі покладається на криптографію для забезпечення безпеки своїх даних. Однією криптографічною функцією, яка надзвичайно важлива в такому контексті, є хешування, під якою розуміють процес, при якому алгоритм, відомий як хеш-функція, отримує вхідні дані (будь-якого розміру) і повертає певний вивід, що містить значення фіксованої довжини. Значення, що отримується на виході, відоме як хеш, і використовується в якості унікального ідентифікатора для блоку даних. Хеш кожного блоку генерується щодо хешу попереднього блоку, і саме це пов'язує їх разом, утворюючи ланцюжок з блоків. Більш того, хеш блоку залежить від даних, що містяться в цьому блоці, означаючи що будь-яка зміна даних потребує зміни хешу цього блоку [2]. Таким чином, хеш кожного блоку генерується на основі даних, що містяться у цьому блоці, і хешу попереднього. Ці хеш ідентифікатори грають важливу роль в забезпеченні безпеки і незмінності блокчейна.

Отже, провівши аналіз особливостей технології Blockchain, можна зробити висновок про те, що дана технологія, використовуючи всі свої переваги, може стати чудовим методом у забезпеченні інформаційної безпеки та знайти своє застосування у багатьох сферах сучасного життя. Блокчейн може забезпечити шифрування даних, їх конфіденційність та збереження, а також гарантувати цілісність даних від зловмисних атак.

### Література

1. Andress, J. The Basics of Information Security: Understanding the Fundamentals of InfoSec in Theory and Practice. — Syngress, 2014. — 240 p.
2. Лоран Лелу. Блокчейн от А до Я. Все о технологии десятилетия. — М.: Эксмо, 2018. — 256 с.

## ЕКЗОТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ЯК МЕХАНІЗМ ЗАХИСТУ ПРОГРАМ І ДАНИХ

Судаков В.Р., студ., НУ «Запорізька Політехніка», [sudakov0.w@gmail.com](mailto:sudakov0.w@gmail.com)

Зайко Т.А., к.т.н., доц. НУ «Запорізька Політехніка», [nika270202@gmail.com](mailto:nika270202@gmail.com)

Сьогодні програмні продукти досягають не аби яких обсягів та рівнів складності. При цьому вони повинні залишатись безпечними для своїх користувачів і їх персональних даних та зберігати швидкий час виконання обчислювальних операцій.

При розробці програмного забезпечення виникає потреба знаходити власні нестандартні вирішення проблем. Від стандартних методів реалізації відходять у більшості випадків для оптимізації вирішення конкретного завдання, і сфера застосування алгоритму, як і його модифікація, бувають не зовсім зрозумілими, а іноді і зовсім нелогічними для стороннього спостерігача (розробника, тестувальника, зловмисника). Такі власні реалізації алгоритмів з нестандартними прийомами, яких не знайти в класичних прикладах, нерідко називають екзотичними.

Практично будь-який великий проект не може обійтись без власних реалізацій відомих алгоритмів. Метою застосування екзотичної реалізації алгоритмів (ЕРА) в більшості випадків є модифікація цих алгоритмів під більш вузьке застосування або навпаки ускладнення для повторного застосування, отримання проміжних результатів і т.д. Але в той самий час це впливає на захищеність програми.

Якщо розглядати ЕРА як механізм захисту, то віднести її можна відразу до кількох із широко відомих понять: обфускації (техніка захисту) та безпеки через неясність («філософія», на яку покладається система). Між ними легко помітити спільні цілі, принципи, прийоми, приклади використання, переваги та недоліки. Таким чином, цей метод захищає вихідний код від точного копіювання в зрозумілому вигляді, але втрачає весь сенс, як тільки прихований алгоритм розгадується.

Заплутаною (obfuscated) називається програма, яка при всіх вхідних даних видає той же самий результат, що і оригінальна програма, але більш складна для аналізу, розуміння і модифікації. Заплутана програма виходить в результаті застосування до вихідної програми заплутуючих перетворень (obfuscating transformations) [1].

ЕРА можна назвати обфускацією на рівні алгоритму, це і є заплутуючим перетворенням. Якщо для заплутування вихідного коду найчастіше використовують автоматичні обфускатори, то ЕРА частіше проводиться власне самим програмістом. Це обумовлено тим, що в код не просто додаються сміттєві

операції та маловідомі можливості мови, а результат досягається через дійсно непередбачуваний спосіб та витончену логіку, яку навіть без інструментальної обфускації складно зрозуміти.

Безпека через неясність (Security Through Obscurity (STO)) - це переконання, що система будь-якого типу може бути захищена доти, поки ніхто крім її розробників нічого не знає про її внутрішні механізми. Приховування даних або очевидності влаштування чогось з припущенням, що «це ніхто ніколи не знайде/не зрозуміє», - це найкращий приклад STO. Можна довіряти розробникам до тих пір, поки вони працюють на проект і його захищеність є у їх інтересах. Як тільки секрет стає розкритим, виникає загроза безпеці системи.

Ефективність цього принципу знизилася в комп'ютерному світі з ростом відкритих систем, мереж, кращого розуміння методів програмування, а також зі збільшенням обчислювальної потужності, доступною для середньостатистичного користувача. Тобто, наприклад, в наш час паролі не зберігаються в доступному місці у незашифрованому вигляді. Реальні системи не обмежуються застосуванням сучасних загальноприйнятих симетричних алгоритмів шифрування (такі як AES), але також забезпечують безпеку доступу до БД.

Однак, не варто недооцінювати підхід SOT. Ефективність усіх механізмів захисту - лише питання часу: рано чи пізно їх зламають, і неможливо уявити яке технічне досягнення вже завтра наблизить цей момент. Додатковий шар захисту виграє якийсь час до виявлення уразливості і часто рятує від автоматизованих ненапрямлених атак.

Зваживши всі за і проти, стає складно об'єктивно оцінити доцільність застосування ЕРА. Всі великі проекти супроводжуються документацією коду, тобто завжди буде існувати пояснення всім рішенням без яких їх подальша підтримка неможлива. Хтось обов'язково повинен знати про пристрій «екзотичних» ділянок коду, в той же час така людина є потенційною вразливістю або навіть загрозою.

Проте можна впевнено стверджувати те, що без ЕРА не обійдеться більшість великих проектів в майбутньому, і те, що на одну тільки ЕРА як на спосіб захисту вони покладатися не будуть.

## Література

1. Чернов А.В. Анализ запутывающих преобразований программ / А.В. Чернов. – Мск.: ИСП РАН, 2003. – 1 с.

## **СЕКЦІЯ 7**

### **Економіка промисловості**

## TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF INNOVATIVE MEMBRANE TECHNOLOGIES

**Inna Trus, Mukola Gomelya, Olena Hlushlo, Vozna Ivanna**

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"  
e-mail: [inna.trus.m@gmail.com](mailto:inna.trus.m@gmail.com)

Nowadays, the problem of salinization of water is very common in Ukraine due to natural and anthropogenic factors, and industrial regions suffer the most. The high level of mineralization is occurred due to the presence of coal, iron ore and uranium mines [1]. Great contribution to the salinity of water objects is made by the discharge of mine water, saline wastewater, water from cooling systems and brine infiltration of many slime storages. Unfortunately, modern methods of saline water treatment do not solve the problem, but only aggravate the situation in densely populated areas with well-developed industry [2].

The solution to this problem is the introduction of innovative complex water desalination technologies at the utilities and industrial enterprises. It will helps to use water that has an increased mineralization, which will ensure a significant reduction of discharges of mineralized sewage and will lead to improvement of the quality of groundwater [3].

Membrane technologies have high efficiency and can be used at different stages of water treatment, as well as together with other methods of purification. In regions with a lack of fresh water, membrane technologies are widely used to desalinate highly mineralized waters. Depending on the quality of the water and the requirements for the treated water, only membrane separation methods can be used for water treatment and wastewater treatment in a technologically grounded combination [4]

The model solution was used through experiments: hardness – 9.0 mg-eqv/dm<sup>-3</sup>, alkalinity – 5.0 mg-eqv/dm<sup>-3</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – 13.0 mg-eqv/dm<sup>-3</sup>, Cl<sup>-</sup> – 3.5 mg-eqv/dm<sup>3</sup>, pH = 8.9.

For desalination of water, samples of 10 dm<sup>3</sup> were used. The degree of selection of permeate was changed from 10 to 90%. The concentrations of chlorides, sulfates, hardness and alkalinity were determined in initial solutions and in permeates. The selectivity and productivity of the membrane were calculated [5].

In the work, the effect of the mechanical water purification on the productivity and selectivity of the reverse osmosis membrane of low pressure Filmtec TW30–1812–50 was determined (Fig. 1, Fig. 2).

The membrane Filmtec TW-30-1812-50 provides en effective water desalting at pressures up to 1 MPa (in this case, P = 0.3 MPa) with high process efficiency. Despite the fact that through a cassette with a reverse osmosis membrane only 10 dm<sup>3</sup> of model solution was passed, its pre-lighting significantly influenced the productivity of the membrane. During filtering an increase in membrane productivity on 12-20% is observed (Fig. 2).

The efficiency of removal of chlorides, sulfates and ions of hardness from water

slightly depends on the pre-purification of water. When desalting the model solution, the highest residual concentrations of chlorides were fixed in the permeate. The residual concentrations of sulfates and hardness ions were rather low. The content of ions in concentrates was determined by their initial concentration and the effectiveness of detention on the membrane.

In concentrates, the increase in concentrations of all cations and anions that were controlled in this process were observed. The highest concentrations correspond to hardness ions and to sulfates.

Since the efficiency of water purification from any ions depends not only on the residual concentrations of ions, but also on their initial concentration, then the efficiency of the water purification process from any ions is better to evaluate by the values of the membrane selectivity (Fig. 1).

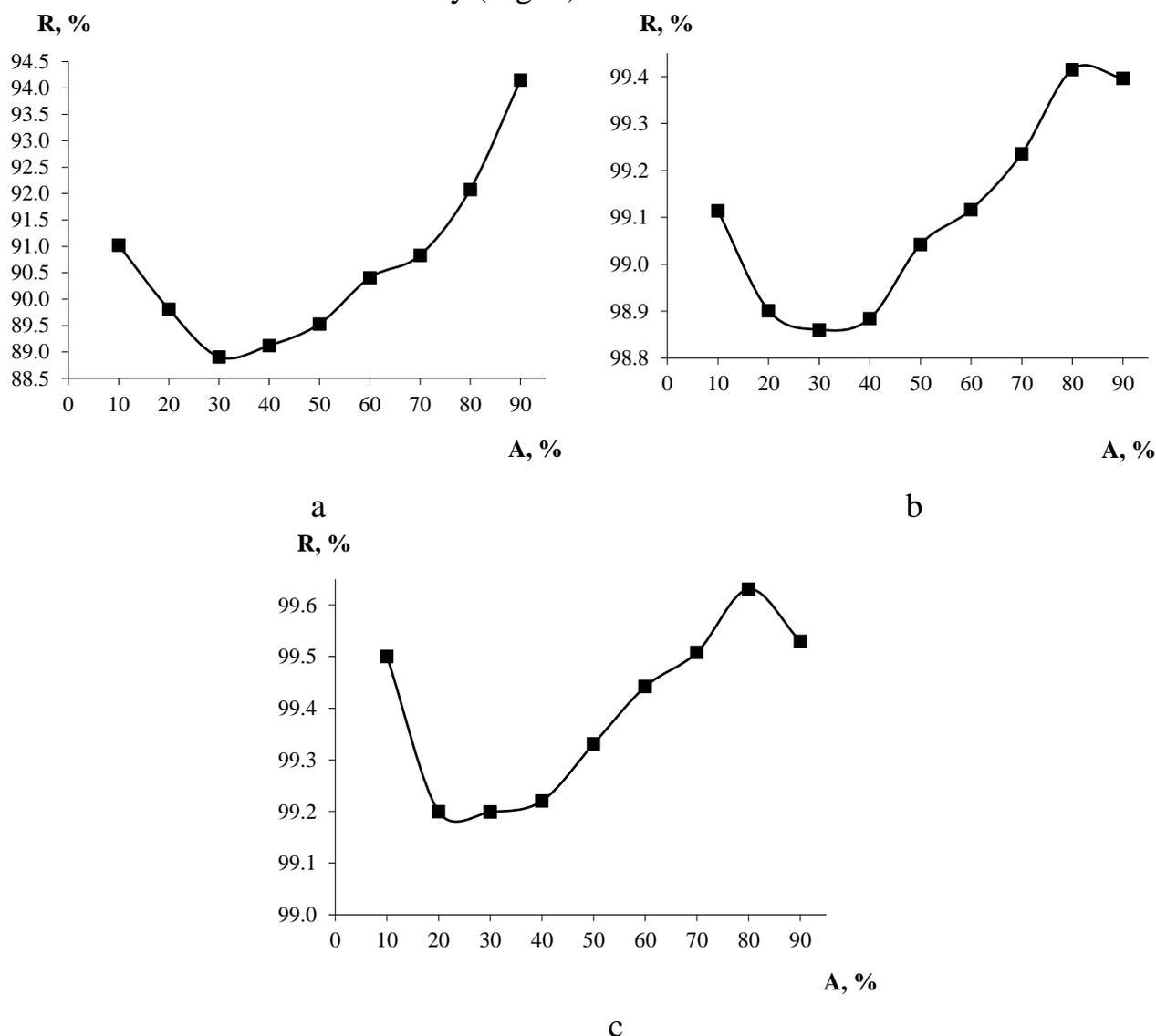


Figure 1. Dependence of the selectivity of the reverse osmosis membrane on chlorides (a), sulfates (b), ions of hardness (c)

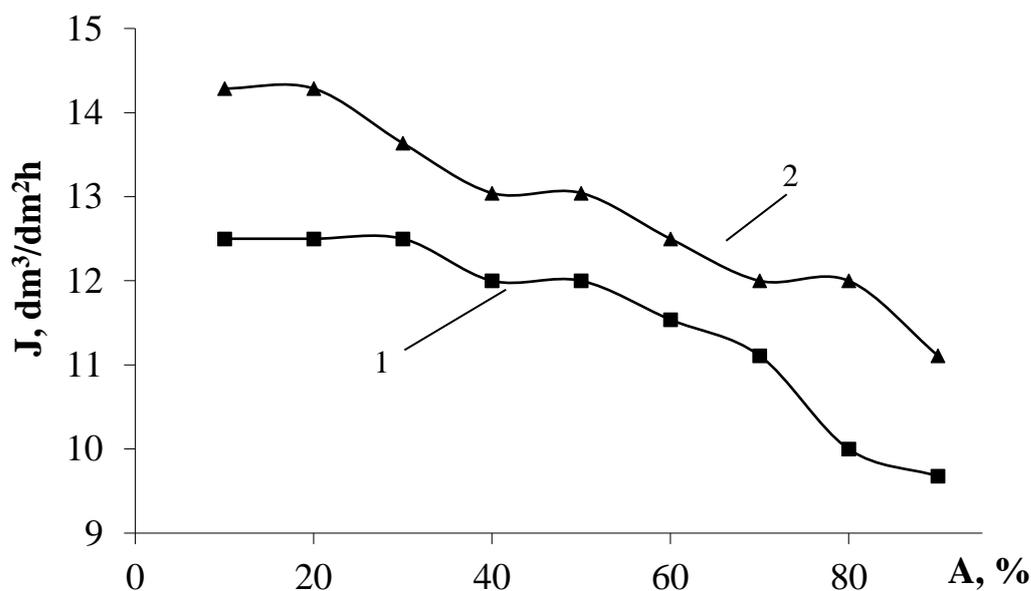


Figure 2. Dependence of the productivity of the reverse osmosis membrane Filmtec TW-30-1812-50 on the degree of selection of permeate during desalination of unfiltered (1) and filtered model solution (2)

During filtering, the Filmtec TW30-1812-50 membrane was characterized by the lowest selectivity of 89-95% in relation to chlorides; the selectivity towards sulfates and ions of hardness reached the values 98.8 - 99.7%.

Thus, initial lighting of water leads to a decrease in water turbidity from 0.5 to 0.1 mg/dm<sup>3</sup> and to increase in membrane productivity up to 1.2-2.0 times.

The optimal parameters of membrane desalinization of solutions providing high water quality were determined in the work.

### References

1. Gomelya M.D. Application of aluminium coagulants for the removal of sulphate from mine water // M.D. Gomelya , I.M. Trus, T.O. Shabliy // Chemistry & Chemical Technology. – 2014. – 8 (2). – P. 197-203.
2. Gomelya, N.D., Trus, I.N., Nosacheva, Y.V. Water purification of sulfates by liming when adding reagents containing aluminum // Journal of Water Chemistry and Technology Volume 36, Issue 2, 2014, Pages 70-74.
3. Trus, I. M., Fleisher, H. Y., Tokarchuk, V. V., Gomelya, M. D., & Vorobyova, V. I. (2017). Utilization of the residues obtained during the process of purification of mineral mine water as a component of binding materials. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, (6), 104-109.
4. Gomelya, M. D., Trus, I. M., & Radovenchyk, I. V. (2014). Influence of stabilizing water treatment on weak acid cation exchange resin in acidic form on quality of mine water nanofiltration desalination. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 100-105.
5. Гомеля М.Д. Нанопільтраційне опріснення слабомінералізованих вод / М. Д. Гомеля, І. М. Трус, В. М. Грабітченко // Вопросы химии и химической технологии. – 2014. – № 1. – С. 98-102.

**ВПЛИВ ІНФЛЯЦІЇ НА ЕКОНОМІКУ ПРОМИСЛОВОСТІ**Ричка М.А., к.е.н., доцент, НАУ, [m.rychka@i.ua](mailto:m.rychka@i.ua)

Розвиток промисловості є одним з найактуальніших задля забезпечення зростання та оновлення економіки не тільки в сучасній Україні, а й у багатьох країнах світу. Роль промисловості як основного драйвера економічного зростання нині визнається як розвиненими країнами, так і країнами, що розвиваються.

Дослідження місця промисловості України у світовому вимірі за період 1990–2016 рр. доводять, що частка аграрного сектора у ВВП України спадала більш рішучими темпами, ніж промислового, і тому співвідношення між часткою цих секторів змінилося менше у промисловості.

Інфляція є одним з важливих факторів макроекономічної нестабільності. Темпи росту економіки залежатимуть від інфляційних показників. МВФ прогнозує у світовій економіці 2020 року різкий економічний спад. Світовий рівень ВВП впаде на 3%, зокрема в США – на 5,9%, в євросоні – близько на 7,5%, а в Україні – на 7,7% (як в Іспанії, яка зазнала найбільше негативного впливу від коронавірусу країн).

Вітчизняні економісти та український уряд більш оптимістичні в своїх прогнозах, які зазначають у 2019 році інфляцію в Україні найнижчою за останні 6 років на рівні 4,1%. Саме це дало змогу Україні вийти з топ-50 країн світу з найвищими темпами зростання споживчих цін (див. табл. 1)

Таблиця 1

Рівень інфляції України 2010-2018 рр., % [2]

Рік	Рівень інфляції (%)	Щорічна зміна
2018	10,95%	-3,49%
2017	14,44%	0,53%
2016	13,91%	-34,79%
2015	48,70%	36,63%
2014	12,07%	12,31%
2013	-0,24%	-0,81%
2012	0,57%	-7,39%
2011	7,96%	-1,42%
2010	9,37%	-6,51%

До країн з гіпер- та галопуючою інфляцією в останні роки незмінно відносять: Венесуелу, Зімбабве, два Судани, Аргентину, де лідером є Венесуела, темпи інфляції якої знизилися до 39000 % на рік. Banco Central de Venezuela вважає, що пік був пройдений у лютому 2019 року з показником 344000%, але в період сильного знецінення грошей обрахунки індикаторів дуже приблизні, адже



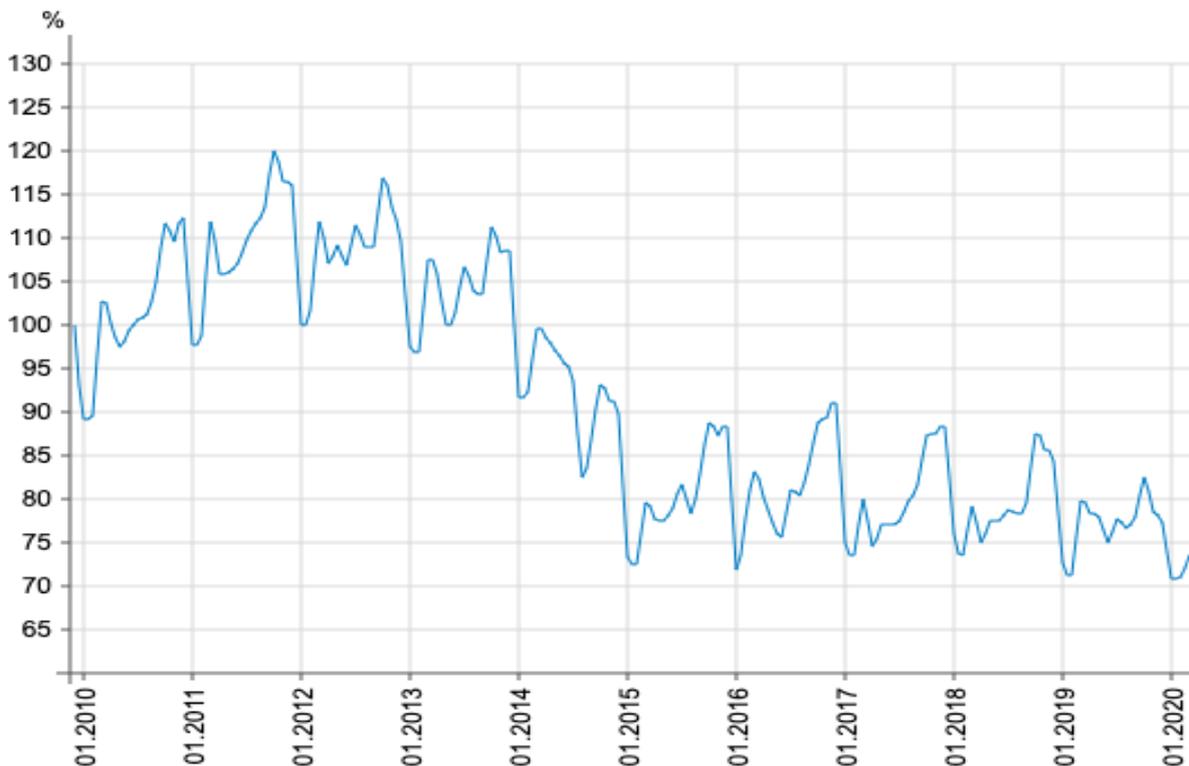


Рис. 2. Динаміку індексу промислової продукції в Україні 2010-2020 рр. [3]

Отже, серед пріоритетів розвитку промисловості України необхідно здійснювати зростання капіталовкладень у промисловість; масштабне оновлення структури промисловості та її основних засобів; диверсифікацію економіки, де розвиток матиме інноваційний вектор для формування 5-го та 6-го технологічних укладів, які відповідають сучасним тенденціям у світовій економіці; розширення внутрішнього ринку; здійснити перехід від експортоорієнтованої сировинної моделі промисловості до здорової конкуренції зі створенням умов для конкурентоспроможності української промисловості на світових ринках; впровадження ресурсо-, енерго- та екологізберігаючих технологій.

### Література

1. Державна служба статистики : сайт URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 21.04.2020).
2. TRADING ECONOMICS : сайт URL: <https://tradingeconomics.com/> (дата звернення 21.04.2020).
3. Мініфін: сайт URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/industrial/>, (дата звернення 21.04.2020).

## **СЕКЦІЯ 8**

**Військово-технічні проблеми та освіта**

**ТЕНДЕНЦІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СИЛАМИ  
ВІДОМСТВ ОХОРОНИ ПРАВОПОРЯДКУ ПРОВІДНИХ КРАЇН СВІТУ****Споришев К.О.**, доц., к.т.н., НАНГУ**Семенко Є.Ю.**, ад'юнкт НАНГУ**Майборода І.М.**, доц., к.в.н. НАНГУ

На даний час у результаті зростання розмаху й динамічності операцій, появи нових видів і засобів озброєння значно розширилася галузь використання інформаційних систем управління силами відомств охорони правопорядку. Принципово міняються й методи збору інформації, форми їхнього представлення й відображення. При цьому основними критеріями продовжують залишатися їхня точність і вірогідність.

Аналіз етапів використання військових систем управління у збройній боротьбі та під час охорони правопорядку, за досвідом передових країн світу, свідчить про постійне зростання впливу інформаційного фактору на хід і кінцевий результат. Характерними з цієї точки зору є такі [1]: постійне зростання кількості засобів обчислювальної техніки, задіяної на етапах планування операцій і під час прийняття управлінських рішень у ході операцій; подальша мініатюризація обчислювальних систем, їх використання практично в усіх зразках озброєння та бойової техніки (у перспективі – особистої зброї та спорядження особового складу); поступова інтеграція на основі глобальних інформаційних технологій систем розвідки, управління та ураження в єдиний контур, що охоплює угруповання від підрозділу (одиниці бойової техніки) до вищого командування; поява перших зразків так званої керованої зброї – якісно нових зразків високоточної зброї, заснованої на використанні інформаційних технологій, що спільно з системами розвідки й управління дозволяє знищити будь-який об'єкт у будь-якій точці планети. У перспективі такі засоби будуть відігравати провідну роль у збройній боротьбі; формування концепції інформаційних (інформаційно-ударних) операцій і перші спроби її реалізації; прийняття інформаційної інфраструктури противника як об'єкта цілеспрямованого впливу (ураження або використання у власних інтересах); використання глобальних інформаційних ресурсів для інформаційної підтримки воєнних дій; проведення інформаційних операцій традиційними та зовсім новими засобами – зброєю на нових фізичних принципах (електромагнітною, психотропною, геофізичною), засобами програмно-математичного впливу; зростання ролі імітаційного моделювання під час планування операцій та у процесі ведення бойових дій; подальша інтеграція засобів штучного інтелекту в інформаційні системи воєнного призначення.

Тенденціями подальшого використання військових систем управління під час охорони правопорядку та у збройній боротьбі [2-6] є такі:

– зростання ролі військових систем управління на початковому етапі війни. Багато фахівців вважають, що одним із основних типів операцій, які будуть проводитися на початковому етапі війни, є так звані інформаційно-ударні

(інформаційні) операції, основне завдання яких на військовому рівні полягає в досягненні інформаційної переваги над противником і захист власних систем управління;

– ретельне планування операцій за допомогою моделювання. Подальше зростання обсягів і значущості імітаційного моделювання під час планування операцій (бойових дій) та прийняття управлінських рішень. Кількість комп'ютерів, задіяних у процесі моделювання, постійно зростає;

– зростання значення інформаційного фактору. Інформаційна інфраструктура держави набуває статусу критичної, стаючи об'єктом першого удару, і потребує для свого захисту збалансованої державної політики в інформаційному просторі;

– зростання ролі високоточних засобів ураження та глобалізація процесів управління. Розвиток і тісна інтеграція систем розвідки, управління, ураження, засобів інформатизації і телекомунікації (у тому числі перенесення глобальних мереж у космічний простір) зумовлює появу ударних комплексів якісно нового рівня – “керованої зброї”;

– зростання динамізму воєнних дій та ускладнення спеціального математичного і програмного забезпечення інформаційних систем органів управління всіх рівнів. Прогрес засобів ведення збройної боротьби та систем управління всіх рівнів (від стратегічного управління до управління зброєю) обумовлює високий динамізм, інтенсивність і руйнівну силу воєнних дій;

– створення загального інформаційно-технологічного простору в масштабах країни або групи країн, об'єднаних, наприклад, взаємними обов'язками у сфері безпеки і оборони чи іншими загальними інтересами. В цьому просторі необхідно об'єднати автоматизовані інформаційно-управляючі системи та бази даних з розвідувальною, навігаційною, картографічною, метеорологічною та іншою інформацією;

– зростання ролі аерокосмічної інформації як основного джерела оперативного отримання об'єктивних і повних даних про місцевість та об'єкти;

– зростання ролі якісного та надійного функціонування цифрової мережі зв'язку, яка значно підвищить ефективність використання традиційного телефонного зв'язку, надає можливість упровадити IP-телефонію та значно розширити можливості щодо обміну інформації в системах захищеної та відкритої електронної пошти (обмін у стислі терміни документальної інформації великих розмірів, передача графічної інформації в кольоровому вигляді); створити умови для обміну інформацією між комплексами автоматизованих інформаційних систем різних рівнів. Для цього необхідно використовувати додатково до супутникового зв'язку оптико-волоконні технології передачі даних. Загалом супутниковий зв'язок для силових відомств здобуває першочергове значення[7];

– зростання ролі ГІС як основного елемента інформаційно-аналітичного забезпечення перспективних автоматизованих систем управління військами. У зв'язку з цим особливе значення набувають проблеми узгодження програмних засобів і стандартизації форматів даних, що в них циркулюють. Аналіз

зарубіжного та вітчизняного досвіду використання ІТ у відомствах охорони правопорядку показав, що найважливішою складовою частиною більшості технологій є засоби оброблення цифрової інформації про місцевість у тісному взаємозв'язку з різноманітними оперативними даними [8].

Таким чином, наведений в доповіді аналіз дозволяє зробити висновок про те, що підвищення ефективності дій відомств охорони правопорядку залежить в першу чергу від оперативності забезпечення їх інформацією, її достовірності та прийняття своєчасних інформаційних рішень. Світовою тенденцією щодо скорочення циклу бойового управління є використання перспективних потужних автоматизованих систем підтримки прийняття рішень, інформаційно-аналітичних систем та систем управління підрозділами відомств охорони правопорядку в загальному інформаційно-технологічному просторі в масштабах країни або групи країн.

### Література

1. Пермяков О.Ю., Солонніков В.Г., Прібілев Ю.Б. Використання інформаційних технологій та застосування космічних систем в інтересах військ (сил) : підручник [Текст] / [О.Ю. Пермяков, В.Г. Солонніков, Ю.Б. Прібілев та ін.] – К.: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2014. – 208 с.
2. Ярош, С.П. Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управляючих інформаційних систем протиповітряної оборони: монографія [Текст] / С.П. Ярош; за ред. І.О. Кириченка. – Х.:ХУПС, 2012. – 512с.
3. Вернер І.Є., Козаков Ю.І., Рябцев В.В. Застосування сучасних інформаційних технологій в роботі органів управління [Текст] / [І.Є. Вернер, Ю.І. Козаков, В.В. Рябцев та ін.]; за заг. ред. О.Ю. Пермякова. – К.: НАОУ, 2006. – 368 с.
4. Пермякова О.Ю. Основи моделювання бойових дій військ [Текст] / [А.В. Атрохов, І.Є. Вернер, В.І. Гавалко та ін.] ; за заг. ред. О.Ю. Пермякова. – К.: НАОУ, 2005. – 484 с.
5. Романченко, І.С. Формування єдиного інформаційного простору полю бою – фундаментальний принцип воєнного мистецтва [Текст] / І.С. Романченко, А.І. Сбитнев // Наука і оборона, 2008. – № 2. – С. 19 – 25.
6. Chand, P. Network Centric warfare : Some Fuundamentals / P. Chand // Air Power Journal (India). Vol.2. – № 1, Spring 2005 (Jan-Mar). – pp. 1 – 24.
7. Катеринчук, І.С. Методичні основи формування системи інформаційного забезпечення Державної прикордонної служби України (теоретичні та практичні аспекти, тенденції розвитку) [Текст] / І.С. Катеринчук, А.І. Сбитнев, В.А. Кириленко // Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького. – Хмельницький: Вид-во НАДПС України, 2010. – 183 с.
8. Попов, М.О. Геоінформаційні системи і технології в задачах оборони і безпеки [Текст] / М.О. Попов, Є.С. Серединін // ЕСОММ Со, 2009.

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА ЧИННИКІВ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЩОДО ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТІВ ВИПРОБУВАНЬ**

**Чередніков О.М.**, к.т.н., с.н.с., ДНДІ ВС [cheronov@ukr.net](mailto:cheronov@ukr.net)

**Чуприна В.М.**, д.т.н., п.н.с., ДНДІ ВС, [voldchu@ukr.net](mailto:voldchu@ukr.net)

Випробування озброєння та військової техніки (ОВТ) є головним фактором забезпечення силових структур держави якісною спецтехнікою.

Як невід'ємна складова виробничого процесу виготовлення і модернізації технічних об'єктів, зокрема військової техніки і техніки спеціального призначення, випробування займають важливе місце в їх життєвому циклі.

Випробування здійснюють для перевірки відповідності об'єктів заявленим тактико-технічним характеристикам (ТТХ), а також надійності їх функціонування в експлуатаційних умовах змінного за часом навантаження, з урахуванням великої кількості зовнішніх чинників, які в процесі експлуатації змінюються в широких межах через дію кліматичних, механічних і інших факторів впливу.

Сучасним методом оцінювання показників і характеристик об'єкта випробування є моделювання у віртуальному середовищі шляхом складання моделі, як аналога об'єкта, та її вивчення. При цьому можна задавати різноманітні чинники впливу на об'єкт (іноді навіть за межами реальних можливостей), а також значно розширити кількість параметрів моделювання та урахувати їх взаємодію [1, 2].

При випробувальних дослідженнях і моделюванні ОВТ інтуїтивний добір істотних чинників часто носить суб'єктивний характер і може призвести до помилкових результатів.

При математичному плануванні експериментів похибки статистичних висновків залежать від обсягу експериментальних робіт, який визначається типом взятого плану, кількістю проаналізованих чинників та їх взаємодій.

На етапі попередніх досліджень найчастіше використовуються ненасичені й наднасичені плани [3, 4]. Ненасичені плани, для яких кількість ступенів волі  $f > 0 (f = N - k' > 0)$ , де  $N$  – загальна кількість серій дослідів,  $k'$  – кількість значущих коефіцієнтів, дають можливість окремо оцінити значущість усіх досліджуваних чинників та їх взаємодій, але потребують проведення досить великої кількості експериментів.

Наднасичені плани забезпечують визначення істотних лінійних ефектів та парних взаємодій при від'ємній кількості ступенів волі ( $f = N - k' < 0$ ), тобто коли кількість досліджуваних чинників та їх взаємодій перевищує кількість дослідів. При цьому різко скорочуються витрати на проведення експериментів, але збільшується помилка визначення значущих коефіцієнтів рівняння регресії.

Технічні системи ОВТ, незалежно від їх службового призначення, є системою службових функцій, які визначають принцип її функціонування і конструктивних елементів для реалізації цих функцій. Система (рис. 1), як

сукупність взаємопов'язаних елементів для виконання заданих функцій з метою досягнення бажаних результатів, містить певну комбінацію різних підсистем та елементів, які разом складають скелет системи [5].

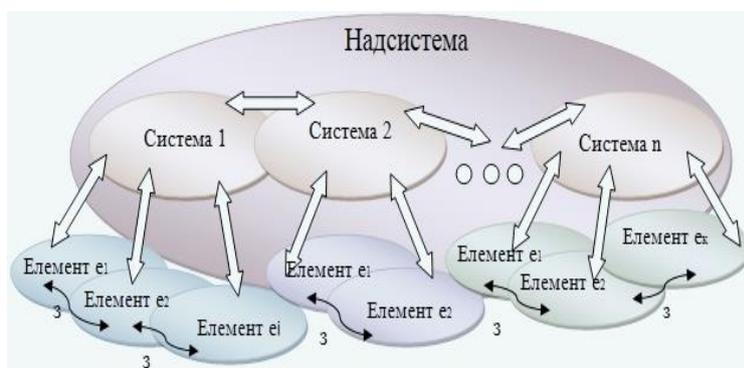


Рис. 1. Структура системи об'єктів випробувань

Складні системи ОВТ мають, як правило, розгалужені ієрархічні структури. У таких системах здійснюється взаємозалежне прийняття рішення в підсистемах різних ієрархічних рівнів.

Підсистеми реалізують певну групу функцій системи сукупністю взаємопов'язаних елементів ( $e$ ). Зв'язки ( $з$ ), як спосіб фіксації об'єктивно існуючих залежностей і

відносин між елементами системи, з'єднують об'єкти та їх властивості у системному процесі, забезпечуючи результат дії системи.

Структура системи визначає її функціонування і складається з кінцевої множини елементів системи і множини співвідношень між ними.

Систему  $S$  можна описати як множину елементів системи  $E$ , множину зв'язків  $З$  між елементами і структуру  $C$  системи:

$$S = \{ C, E, З \},$$

де  $C$  – структура системи,  $C = \{ e_i, з_{ij} \}$ ;  $E$  – сукупність елементів,  $E = \{ e_1, e_2, e_3, \dots, e_i \}$ ;  $З$  – сукупність зв'язків,  $З = \{ з_1, з_2, з_3, \dots, з_{ij} \}$ .

Структурні елементи, що входять у систему, не можуть існувати відособлено, без взаємозв'язку з іншими об'єктами та навколишнім середовищем. Вони мають статистичний характер розподілу параметрів. Їх взаємодія визначає ступень невизначеності та викликає поле розсіювання умов експлуатації, що характеризуються сукупністю впливів на об'єкти ОВТ експлуатаційних факторів. Ці фактори визначають середу, в якій проявляються властивості конструкції, що враховується як при створенні, так і при розробці програм і методик випробувань ОВТ.

Планування експериментів передбачає активне втручання в процес і можливість вибору тих рівнів чинників, які викликають практичний інтерес та відповідають деякому математичного плану кожного експерименту.

Важливою характеристикою об'єктів випробувань є його керованість. У більшості випадків функціонуючі об'єкти ОВТ не забезпечують можливості активного впливу. У таких ситуаціях здійснюється пасивне спостереження за об'єктом і фіксація важливих параметрів ТТХ без прямого впливу на них чинників, тобто здійснюється “пасивний” експеримент.

Іноді можливо оцінювати експлуатаційні характеристики об'єктів ОВТ в різних станах, близьких за значенням плану математичного моделювання,

забезпечити ступінь відтворення результатів у різні моменти часу провести серії паралельних експериментів [2-4].

З метою досягнення бажаних результатів доводиться рахуватись з основними вимогами теорії математичного планування експериментів. Насамперед, суттєво те, чи відтворюються на об'єкті експлуатаційні характеристики об'єктів випробувань заявлених ТТХ. Вибираються деякі рівні варіювання для всіх чинників і в цих умовах проводиться експеримент. Потім його повторюють декілька разів через нерівні проміжки часу та порівнюють значення параметру. Розкид цих значень може характеризувати відтворення результатів. Переважно розглядаються лише такі об'єкти, для яких вимога відтворення здійснюється.

Використання всіх можливих варіантів експериментів для отримання моделі приводить до абсурдно великої їх кількості. Задача вибору необхідної кількості експериментів, методів математичної обробки їх результатів та прийняття рішень є важливою задачею планування експерименту. Планування експерименту дозволяє вибір мінімальної кількості експериментів, необхідних для пошуку оптимальних умов.

Визначенні методами планування експериментів оцінки експлуатаційних характеристик об'єктів випробувань застосовуються при випробуваннях складної військової техніки спеціального призначення. Вони спрямовані на підвищення ефективності випробування військової техніки та забезпечення надійності функціонування ОВТ в різних експлуатаційних умовах з урахуванням механічних та кліматичних впливів.

### Література

6. Dmytriyev V.A., Cupryna V.M., Chimbanga E.K. Modern Methods of Modelling in Testing and Sertification of Special Technique // Математичне та імітаційне моделювання систем. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції "МОДС 2018", 25– 29 червня 2018 року, Україна, м. Київ – с. Жукін, С.376-378.

7. Организация прикладных научно-исследовательских работ в аэрокосмическом комплексе США. Техническая информация УкрНИИАТ / Под ред. Г.А. Кривова. – К.: УкрНИИАТ, 1999. – 45 с.

8. Радченко, С.Г. Математичне моделювання та оптимізація технічних систем: навч.-метод. посіб. – К.: Політехніка, 2002. – 88 с.

9. Павленко, П. М. Математичне моделювання систем і процесів : [навч. посіб.] / П. М. Павленко, С. Ф. Філоненко, О.М.Чередніков, В. В. Трейтяк – К. : Книжкове вид-во НАУ, 2015. – 424 с.

10. Борисов О.О., Чередніков О.М. Підвищення експлуатаційних характеристик технічних систем керуванням розмірними зв'язками / Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРТК - 2013): VI міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 27-29 травня 2013 р.): тези доп. – К., 2013. – С. 48-49.

## **АНАЛІЗ ВІЙСЬКОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ У ФОРМУВАННЯХ АНАЛОГІЧНИХ НАЦІОНАЛЬНІЙ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ**

**Яковлев М.Ю.**, с.н.с., п.н.с., НАНГУ  
**Горелишев С.А.**, доц., с.н.с., к.т.н, НАНГУ  
**Семенко Є.Ю.**, ад'юнкт НАНГУ

Події початку ХХІ століття відбуваються на фоні трансформації суспільства від постіндустріального до інформаційного. Характерними рисами розвитку інформатизації у військовій справі на сучасному етапі є [1]: глобалізація інформаційних процесів в арміях провідних країн світу; мініатюризація елементної бази обчислювальної техніки і полегшення її інтеграції зі зразками озброєння; зростання надійності і мобільності обчислювальних мереж як матеріальної основи для побудови різних інформаційних систем військового призначення. На даний момент у багатьох країнах світу приділяють першочергове значення створенню і впровадженню військових інформаційних систем.

У доповіді проаналізовано досвід застосування інформаційних технологій у силових відомствах провідних країн світу аналогічних Національній гвардії України.

Встановлено, що значні зміни відбуваються і у військовій справі за такими основними напрямками [2]: розроблення нових концепцій ведення військових конфліктів, передусім концепції “неконтактних бойових дій”, удосконалення форм і способів застосування військ. Сучасні військові конфлікти набули специфічних рис: рішучості в досягненні політичних цілей, спрямованості на порушення роботи систем державного та військового управління і критичної інфраструктури держави опонента, динамічності, швидкоплинності, високої технологічності застосовуваних засобів; удосконалення автоматизованих систем управління військами (розроблення і виготовлення автоматичних систем управління військами, силами та зброєю); удосконалення засобів високоточної зброї, які завдяки включенню в інформаційне середовище “бойового простору” можуть бути керованими та навіть після запуску; удосконалення засобів розвідки, здатних діяти автономно тривалий час і перебувати на достатньо великих відстанях.

Показано, що аналіз застосування інформаційних технологій дозволяє достатньо чітко визначити такі напрями їх застосування у сучасній збройній боротьбі: у системах управління військами, у системах управління зброєю, як зброї, як основи для структурно-функціональної трансформації збройних сил та розроблення нових концепцій ведення конфліктів і форм застосування військ [1].

В доповіді, проілюстровано, що нині армії практично всіх країн переживають певні трансформаційні процеси. Так, у збройних силах США затверджена Joint Vision 2020 – нова доктрина трансформації збройних сил США. Загальною метою трансформації є створення збройних сил, які б

домінували в повному спектрі військових операцій і були неперевершеними в будь-якій формі конфлікту.

У середині 2005 р. Міністерство оборони Великобританії заявило, що буде витрачено 14 млрд фунтів стерлінгів на реалізацію програми FRES (Future Rapid Effects Systems – майбутня система швидкого впливу), яка передбачає придбання 3500–3775 бойових машин піхоти середньої вагової категорії до 2030 р. Усі машини матимуть можливість входження в єдине інформаційне середовище “бойового простору”.

Розроблення програми майбутньої бойової системи SEP (Splitterskydded Enhets Platform – модульна броньована тактична система) для шведської армії було розпочате фірмою Hagglunds. Метою програми є модернізація парку бойових машин піхоти, що будуть здатні діяти в єдиному інформаційному середовищі “бойового простору”.

Програмою майбутньої бойової системи BOA (Bulle Operationnelle Aeroterrestre – повітряно-наземне бойове об’єднання) Франція заздалегідь визначила майбутнє своїх збройних сил до 2025 р. Управління DGA (Delegation Generale Pour L’Armement) міністерства оборони Франції у 2005 р. підписало контракт з фірмою Thales на розроблення концепції і демонстрацію бойової системи BOA. За даними управління DGA, потрібно три нових класи бойових машин піхоти, які можуть бути впроваджені у французьку армію протягом 2015–2030 рр.: EB5, EB10 і EB20, які будуть підключені до єдиної інформаційної мережі.

За основними елементами склад усіх програм схожий, тому в доповіді детальніше розглянуто лише програму FCS сухопутних військ збройних сил США.

З метою вдосконалення взаємодії армій країн членів НАТО при проведенні операцій з підтримки миру та інших миротворчих операцій, головний Штаб Об’єднаних Сил в Європі 11-ти країн підтримав проект розробки Автоматизованої системи бойового управління тактичного рівня ATCCIS (Automatic Tactical Combat Control Information Systems) – нової, високоефективної системи, призначеної для обміну інформацією. Результатом з’явилося створення моделі даних з елементами, стандартними для бригади, дивізії й корпусу.

На основі цієї моделі в 2000 р. почалося створення Військової системи управління й контролю інформації системи DACCIS (Danish Army Command and Control Information System) для армії Данії [3]. Система підтримує планування операцій і управління військами від батальйону й вище – до національного рівня, забезпечує інформаційний обмін із союзниками.

Інші країни НАТО, такі як Нідерланди та Іспанія, також прийняли на озброєння загальну модель даних ATCCIS. Щоб переконатися в обопільній сумісності систем, що розробляються, проводяться тестові випробування (наприклад, данської системи DACCIS і голландської системи ISIS). Крім того, ATCCIS забезпечить можливість обміну даними за прямим доступом або через конвертери з іншими системами, які не засновані на цій моделі й не підтримують

Windows NT, – такими як німецька система HEROS. Проблем тут виникнути не повинно, оскільки всі системи засновані на стандартах НАТО.

У доповіді також зосереджено увагу на впровадження інформаційних технологій для розвитку Національної Гвардії Російської Федерації. Протягом останніх років ініціативним порядком проводяться науково-дослідні та випробувально-конструкторські роботи, військові випробування та дослідна експлуатація програмних і технічних засобів геоінформаційної системи Національної Гвардії Російської Федерації [4]. Дана ГІС являє собою комплекс організаційних заходів, програмних і технічних засобів, інформаційних масивів, призначених, щоб забезпечити системи управління військами просторово зв'язаною інформацією. Головний центр автоматизованої системи управління Національної Гвардії Міністерства Внутрішніх Справ Російської Федерації розробив систему моніторингу рухомих об'єктів “Карта-навігатор” [5]. Система створена з метою відстеження й відображення рухомих об'єктів, які обладнані різними типами пристроїв супутникового позиціонування, що передають на диспетчерський пункт по радіоканалу координати й стандартний набір інформації про об'єкт.

Таким чином, наведений в доповіді аналіз дозволяє зробити висновок про те, що одним з основних напрямків розвитку силових відомств є створення та вдосконалення стійкого, оперативного, безперервного й прихованого управління частинами та підрозділами за рахунок упровадження єдиної системи інформаційного забезпечення, яка повинна відповідати всім необхідним вимогам до таких систем. Величезний потік інформації, який циркулює між органами управління силових відомств, у ході виконання службово-бойових дій у стислий термін часу має бути систематизований, узагальнений, проаналізований і переданий без викривлення, з достатньою достовірністю.

#### Література

1. Пермяков О.Ю., Солонніков В.Г., Прібилев Ю.Б. Використання інформаційних технологій та застосування космічних систем в інтересах військ (сил): підручник [Текст] / [О.Ю. Пермяков, В.Г. Солонніков, Ю.Б. Прібилев та ін.] – К.: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2014. – 208 с.
2. Кларк, Р. Третья мировая война: какой она будет? [Текст] / Р. Кларк, Р. Нейк ; пер. с англ. Е. Карманова. – СПб.: Питер, 2011. – 336 с.
3. ГИС – геоинформационные системы [Електронний ресурс] / DACCIS обеспечивает оперативное наблюдение за полем боя. – Режим доступа : [www/URL: http://dataplus.ru/Industries/2MVD/8\\_Daccis.htm](http://dataplus.ru/Industries/2MVD/8_Daccis.htm) (дата звернення: 20.11.2010). – Загол. з екрану.
4. Утекалко В.К., Бирзгал В.В., Вечер Н.А. Геоинформационные системы военного назначения [Текст] / [В.К. Утекалко, В.В. Бирзгал, Н.А. Вечер та ін.] // Издательство “Военная академия Республики Беларусь”. – Минск, 2008. – 253 с.
5. Грачев, Д.Д. ГИС Внутренних войск МВД России. [Текст] / Д.Д. Грачев, Д.А. Гусев, Е.А. Симохин // ArcReview, 2007. – № 1(40).

## ОБОРОННИЙ МЕНЕДЖМЕНТ В ДЕРЖАВАХ-ЧЛЕНАХ НАТО

**Наливайко А.Д.**, провідний науковий співробітник, к.т.н., доцент  
**Поляєв А.І.**, старший науковий співробітник

Національний університет оборони України ім. І. Черняховського

Аналіз генезису впровадження менеджменту в бізнес-структурах та в державному управлінні підтверджує, що оборонний менеджмент виник не так давно в якості теми, що представляє інтерес для сектора безпеки і оборони.

Згодом деякі країни-члени НАТО почали поступово впроваджувати процедури оборонного менеджменту у процесі вирішення оборонних проблем, зокрема розподілу фінансових та людських ресурсів, стратегічних завдань, використовуючи специфічні для бізнесу інструменти для управління в оборонному секторі.

Зазначений підхід вимагає забезпечення розвитку спроможностей на всіх рівнях і в кожному підрозділі оборонної організації. Одним із перевірених способів досягти цього є використання його насамперед у тих сегментах оборонної організації, які можуть сприяти максимальній ефективності оперативної діяльності збройних сил.

Враховуючи важливість цивільного та демократичного контролю над збройними силами та силами безпеки, на саміті НАТО в Стамбулі в червні 2004 р. був затверджений План дій щодо партнерства з розбудови оборонних інституцій. Цей План передбачав посилення дії країн-партнерів з реформування і реструктуризації своїх оборонних інституцій, які задовольняли б як національні потреби, так і міжнародні зобов'язання цих країн.

Враховуючи національну специфіку, окремі союзники вважають за краще створювати нові органи управління або ради оборонного менеджменту з відповідним статусом та переліком повноважень. В інших державах не проводиться інституційний розподіл між організаційними структурами та менеджерськими завданнями. Так, у Сполученому Королівстві оборонний менеджмент перебуває у компетенції Ради оборонного менеджменту при Раді оборони. У Франції оборонний менеджмент здійснюється двома комітетами міністерства оборони – комітетом з оборонних інвестицій та фінансовим комітетом. У більшості держав-членів НАТО оборонний менеджмент є законодавчо врегульованим, з визначеною мірою відповідальності цивільних і військових менеджерів всіх рівнів.

Однак на сьогодні навіть у союзницьких країнах не існує єдиного визначення поняття "управління обороною". Воно просто охоплює ідею про те, що оборонним інституціям необхідно впроваджувати оборонну політику в практику і для цього необхідно розробляти відповідні та стійкі механізми планування, системи підтримки та інфраструктуру.

Дослідження Террі Макконвіля та Річарда Холмса свідчать про те, що в галузі оборони, як і в будь-якій іншій галузі, процес менеджменту здійснюється на всіх рівнях організації і регулює весь спектр організаційної діяльності. Цей процес починається з формулювання політики на найвищому рівні керівництва (командування) і поширюється на нижчі рівні керівництва та контроль, іноді аж до найдрібніших деталей, у всіх аспектах діяльності.

Як організаційний процес, оборонний менеджмент перебуває між формуванням політики оборони і фактичним управлінням збройними силами. На думку експертів, цей процес повинен охоплювати такі сфери, як управління оборонними ресурсами, управління персоналом і управління закупівлями.

Розвиток спроможностей сектору безпеки та оборони - ще одне ключове завдання для союзних урядів. Деякі країни зосереджені на трансформації своїх збройних сил, в той час як інші прагнуть до більшої перебудови всього оборонного сектора. Всі ці держави мають стратегічні цілі (завдання) щодо реформування сектору безпеки та оборони, визнаючи успіх цих реформ як фактор, що сприяє інтеграції з євроатлантичним співтовариством та зміцненню безпеки та добробуту їх громадян.

Оборонний менеджмент зорієнтований на підвищення ефективності оборонного відомства, тобто - на створення нових спроможностей сил оборони і більш широких можливостей для виконання ними своїх зобов'язань із забезпечення національної безпеки. У зв'язку з тим, що ресурси витрачаються відповідально і стратегічно правильно, відповідно до встановленої політики національної безпеки, оборонний менеджмент сприяє ефективному управлінню. Це вимагає суворого дотримання прозорості та підзвітності на всіх організаційних рівнях та ефективної системи контролю.

У багатьох країнах державні адміністрації замінюють свої досить негнучкі і бюрократичні форми роботи від імені суспільства на більш гнучкий і підзвітний менеджмент публічного сектору. Тоді виникає питання, а яким чином, по аналогії, уряд може підвищувати ефективність управління в оборонній сфері та "зміцнювати оборону". Частково відповідь полягає у впровадженні менеджерської практики з ділового сектора у сферу оборони, де досягнення очікуваних результатів в умовах конкурентного середовища має вирішальне значення для успішного функціонування будь-якої організації.

У системі оборонного менеджменту планування має прямий вплив на розвиток спроможностей збройних сил за рахунок оснащення їх новітніми зразками озброєння та військової техніки. Крім того, у менеджерському сенсі організаційна діяльність передбачає привнесення гнучкості у жорсткі структури управління шляхом організації робочих процесів всередині цих структур, а не реорганізації самої структури. У свою чергу, лідерство означає не тільки як взяття відповідальності за прийняття рішень, а і як делегування елементів процесу прийняття рішень, що відрізняється від добре сформованої системи підлеглості (субординації) в збройних силах. Моніторинг за виконанням прийнятих рішень, в основному, означає відстеження подій та втручання, при необхідності, щодо переорієнтації сил і засобів на інші завдання.

З іншого боку, оборонний менеджмент не заміняє і не може замінити специфічні військові процеси планування та проведення військових операцій. Основним завданням оборонного менеджменту є об'єднання людей в рамках оборонних організацій з підготовкою, озброєнням і військовою технікою, а також зі всебічним забезпеченням збройних сил для кращого виконання стратегічних оборонних завдань і цілей.

Оборонний менеджмент може розглядатися як процес планування, організації та забезпечення кадрами, керівництва та контролю над діяльністю всередині оборонної організації на систематичній основі для досягнення конкретної загальної (відомчої) цілі.

Оборонний менеджмент є одночасно науковим методом і мистецтвом розширення прав і можливостей людей. Це робить організацію більш ефективною і економічною.

Незалежно від того, яка вертикаль обговорюється і на якій стадії, оборонний менеджмент у державах-членах НАТО розглядається в більш широкому контексті політики національної безпеки на основі конкретного контексту, з урахуванням реальних обставин і відповідно до міжнародних стандартів належного урядування.

Таким чином, повинні бути встановлені конкретні цілі, ґрунтовані на реальних потребах в сфері безпеки і оборони, а також визначені ефективні й економічні механізми (методи) для досягнення цих цілей і відповідним чином розподілені ресурси. Підсумки та результати здійснення оборонного менеджменту повинні контролюватися і оцінюватися з метою підвищення загальної ефективності даного процесу.

Оборонний менеджмент у державах-членах Альянсу розглядається як частина національної політики в галузі оборони і безпеки і являє собою процес, в якому беруть участь головним чином державні органи, відповідальні за розробку цієї політики і формування бюджету на оборону та безпеку.

### **Література**

1. Оборонний менеджмент: ознайомлення / За редакцією Г. Букур-Марку, Ф. Флурі, Т. Тагарева. Женева-Київ: ЦДАК та РІКК, 2010. 214 с.
2. Шаталова О.Г. Європейський досвід стратегічного оборонного менеджменту. Уроки для України. – Д.: НІСД, 2012.
3. ТеріМакконвіль, Річард Холмс (ред.), Defence Management in Uncertain Times, Cranfield Defence Management Series Number 3, Routledge 2011.
4. Петренко А. Г. Щодо впровадження оборонного менеджменту та управління змінами в Міністерстві оборони України. Київ: Наука і оборона № 2 2019.

# ІНТЕГРОВАНІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ РОБОТОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ (ІРТК-2020)

ТРИНАДЦЯТА МІЖНАРОДНА  
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

19-20 травня 2020 р.

Київ, Україна

Збірка тез

Тези надруковані в авторській редакції на одній із трьох робочих мов конференції

Оригінал-макет

підготовлено на кафедрі комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій

Навчально-наукового інституту інформаційно-діагностичних систем

Національного авіаційного університету

Комп'ютерна верстка:

Граф М.С., Шелуха О.О.

---

Підп. до друку 13.04.20. Формат 60x84/16.

Папір офс. Гарн. Times New Roman.

Ум. друк. арк. 24,5. Тираж 100 прим. Замовлення № 5

---

Віддруковано у СПД «Андрієвська Л.В.»

м. Київ, вул. Бориспільська, 9,

Свідоцтво серія ВОЗ № 919546 від 19.09.2004 р.