

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ І АВТОМАТИКИ

MEASUREMENT, CONTROL AND DIAGNOSIS  
IN TECHNICAL SYSTEMS

ЧЕТВЕРТА МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ

«ВИМІРЮВАННЯ, КОНТРОЛЬ ТА ДІАГНОСТИКА В ТЕХНІЧНИХ  
СИСТЕМАХ (ВКДТС-2017)»

збірник тез доповідей

31 жовтня – 2 листопада 2017 р.

ВНТУ  
ВІННИЦЯ  
2017

**УДК 066.91:005.584.1(045)**  
**ББК 30.10я431**  
**К 95**

Друкується за рішенням Вченої ради Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки

*Головний редактор:* **В.В.Грабко**

*Відповідальний за випуск:* **Кучерук В.Ю.**

Рецензенти:           **Стадник Б.І.**, доктор технічних наук, професор  
                              **Кухарчук В.В.**, доктор технічних наук, професор

Четверта міжнародна наукова конференція «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (ВКДТС-2017), 31 жовтня – 2 листопада, 2017 р. Збірник тез доповідей. – Вінниця: ПП «ТД«Едельвейс і К», 2017. – 267 с.

**ISBN 978-617-7237-41-8**

У збірнику опубліковано матеріали конференції, присвяченої проблемам теоретичних основ вимірювань, контролю та технічної діагностики, інформаційно-вимірювальних технологій та метрології.

**УДК 066.91:005.584.1(045)**  
**ББК 30.10я431**

**ISBN 978-966-2462-97-5**

© Вінницький національний технічний  
університет, 2017  
© Учбово-науковий центр «Паллада», 2017

**Пам'яті**  
**Володимира Олександровича Поджаренка**



13 листопада 1949 року в м. Вінниці народився визначний український вчений-метролог, організатор і сподвижник української освіти і науки, учитель і наставник багатьох молодих науковців, відданий патріот України, доктор технічних наук, професор **Володимир Олександрович Поджаренко**.

У 1967 році він закінчив Вінницьку середню школу, а у 1972 році – Київський політехнічний інститут за спеціальністю «Радіотехніка», кваліфікація: радіоінженер.

Після закінчення інституту працював на посадах інженера, молодшого наукового співробітника Вінницького філіалу Київського політехнічного інституту, а з 1 вересня 1973 року став асистентом кафедри електровимірювань та промислової електроніки цього філіалу (нині Вінницький національний технічний університет (ВНТУ)), а згодом і професором. Після засновника наукової школи Віктора Тихоновича Малікова став завідувачем кафедри метрології та промислової автоматики.

У 1980 році захистив дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Вчене звання доцента одержав в 1989 році. В 1995 році захистив докторську дисертацію на тему: "Дослідження та розробка інтелектуальних вимірювальних систем характеристик електромеханічних перетворювачів енергії". В 1998 році йому присвоєно вчене звання професора кафедри метрології та промислової автоматики, а у 1994 році – академіка Української технологічної академії, Подільське регіональне відділення якої він і очолював.

Творчий доробок професора Поджаренка В.О. – понад 200 наукових праць та навчально-методичних робіт, в тому числі 52 винаходи, що захищені

авторськими свідоцтвами і патентами, 17 навчальних посібників, п'ять з яких мають гриф Міністерства освіти і науки України, 3 монографії. Співорганізатор декількох та учасник понад 50 Міжнародних наукових і науково-практичних симпозіумів, конференцій, семінарів із проблем метрології, стандартизації, сертифікації та енергозберігаючих технологій.

Був членом двох спеціалізованих вчених рад по захисту докторських дисертацій, редакційних колегій журналів «Вісник ВП», «Вісник національного університету "Львівська політехніка"» (серія "Метрологія та вимірювальна техніка"), науково-технічної збірки "Автоматизація технологічних процесів та промислова екологія" Сєверодонецького технологічного інституту.

Професор Поджаренко В.О. удостоєний срібної медалі на виставці "East-West European Intellect" у 1998 році, що проходила в м. Софія (Болгарія). Наказом Держкомстандарту України № 265 від 12.10.1999 р. нагороджений нагрудним знаком "За заслуги в стандартизації, метрології, сертифікації та акредитації". Представлений до почесного звання «Заслужений метролог України», яке, на жаль, не встиг отримати.

З 2000 року за його ініціативи вперше було відкрито у Подільському регіоні спеціальність "Метрологія та вимірювальна техніка".

Заснував наукову школу "Інформаційно-вимірювальні системи в енергозберігаючих технологіях". Під його керівництвом захищено 4 докторських та 8 кандидатських дисертацій.

Співпраця із компанією Shneider Electric (Франція) дала змогу практично реалізувати ряд проектів і одержати економічний ефект, зокрема, на підприємствах Вінницької та Хмельницької областей.

Був експертом Державної комісії з акредитації і ліцензування управління акредитації, ліцензування та нострифікації МОНУ технічних спеціальностей ВНЗ України.

Приділяв значну увагу підвищенню свого науково-методичного та кваліфікаційного рівня, зокрема пройшов підвищення кваліфікації на філії фірми FESTO-DIDAKTIC при МФТУ ім. Баумана (Москва).

Володимир Олександрович був не тільки видатним ученим, знаним в Україні та світі фахівцем в галузі метрології та вимірювальної техніки, що багато зробив корисних справ для Вінницького національного технічного університету – своєї рідної Альма-Матер, але й чудовою та доброзичливою людиною, незрадливим товаришем і чуйним батьком і дідусем, мудрим керівником і талановитим наставником молоді, людиною, яку поважали та цінували всі, хто його знав і з ким спілкувався та співпрацював.

## МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ КОМІТЕТ

**Голова:** В. Грабко, ректор Вінницького національного технічного університету

**Заступники голови:** Володарський Є.Т.(Україна, Академія метрології України), Стадник Б.І. (Україна, Академія метрології України), Кучерук В.Ю., Україна, Вінниця.

**Члени комітету:** Tadeusz Skubis (Poland, Silesian University of Technology), Waldemar Wojcik (Poland, Lublin University of Technology), Igor Piotr Kurytnik (State Higher School in Oswiecim, Poland), Valentina Vassilenko (Portugal, Universidade NOVA de Lisboa), Zygmunt Lech Warsza (Poland, Industrial Research Institute of Automation and Measurements), Астахов А.С. (Україна, Вінниця), Бісікало О.В. (Україна, Вінниця), Васілевський О.М. (Україна, Вінниця), Большаков В.Б. (Україна, Харків), Дубовой В.М. (Україна, Вінниця), Кветний Р.Н. (Україна, Вінниця), Косач Н.І. (Україна, Харків), Кошева Л.О. (Україна, Київ), Кулаков П.І. (Україна, Вінниця), Кухарчук В.В. (Україна, Вінниця), Микійчук М.М. (Україна, Львів), Мокін Б.І. (Україна, Вінниця), Мокін В.Б. (Україна, Вінниця), Паракуда В.В. (Україна, Львів), Петрук В.Г. (Україна, Вінниця), Осадчук О.В. (Україна, Вінниця), Хакімов О.Ш. (Узбекистан, Ташкент)

## INTERNATIONAL SCIENTIFIC ADVISORY BOARD:

**General Chair:** V. Grabko, chancellor of VNTU.

**Vice Chairmen:** Volodarskiy Ye.T., prof. (Ukraine, Academy Metrology of Ukraine), Stadnyk B.I., prof. (Ukraine, Academy Metrology of Ukraine), Kucheruk V. Yu., prof. (Ukraine, Vinnitsya).

**Members:** Tadeusz Skubis (Poland, Silesian University of Technology), Waldemar Wojcik (Poland, Lublin University of Technology), Igor Piotr Kurytnik (State Higher School in Oswiecim, Poland), Valentina Vassilenko (Portugal, Universidade NOVA de Lisboa), Zygmunt Lech Warsza (Poland, Industrial Research Institute of Automation and Measurements), Astahov A.S. (Ukraine, Vinnitsya), Bisikalo O.V. (Ukraine, Vinnitsya), Vasilevskiy O.M. (Ukraine, Vinnitsya), Bolshakov V.B. (Ukraine, Kharkiv), Dubovoy V.M. (Ukraine, Vinnitsya), Kvetniy R.N. (Ukraine, Vinnitsya), Kosach N.I. (Ukraine, Kharkiv), Kosheva L.O. (Ukraine, Kiyv), Kulakov P.I. (Ukraine, Vinnitsya), Kuharchuk V.V. (Ukraine, Vinnitsya), Mykyjchuk M.M. (Ukraine, Lviv), Mokin B.I. (Ukraine, Vinnitsya), Mokin V.B. (Ukraine, Vinnitsya), Parakuda V.V. (Ukraine, Lviv), Petruk V.G. (Ukraine, Vinnitsya), Osadchuk O.V. (Ukraine, Vinnitsya), Hakimov O.Sh. (Uzbekistan, Tashkent)

## НАУКОВА ПРОГРАМА

Метою конференції є висвітлення наукових досягнень провідних вчених України та світу в галузі вимірювання, контролю та діагностики в технічних системах, а також їх застосування на промислових підприємствах України.

## СЕКЦІЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

1. Теоретичні основи вимірювань, контролю та технічної діагностики.
2. Первинні вимірювальні перетворювачі та сенсори. Прилади та методи контролю речовин, матеріалів та виробів.
3. Математичне моделювання процесів в засобах вимірювання, контролю та діагностики.
4. Інформаційно-вимірювальні системи, біотехнічні та медичні прилади і системи.

## CONFERENCE SECTIONS

1. Theoretical foundations of measurement, control and technical diagnostics.
2. Primary transducers. Devices and methods of and control substances, materials and products.
3. Mathematical modeling of processes in the measure, control and diagnostics.
4. Information-measuring systems, biotechnical and medical devices and systems.

## Академія метрології України (з ініціативи Львівського осередку АМУ)

### МЕТРОЛОГІЯ. ТЕРМІНИ ТА ОЗНАЧЕННЯ: СУЧАСНЕ ТРАКТУВАННЯ

Оскільки Україна стрімко наблизилась до європейської спільноти, то необхідною умовою співпраці зі світовим науковим товариством є усунення технічних бар'єрів, а отже, гармонізація нормативно-технічної документації у сфері метрології. Особливо це стосується понятійно-термінологічного апарату, оскільки метрологія повинна мати універсальну базову основу, чітку й доступну для розуміння користувачів у будь-яких сферах діяльності [1].

Введення у метрологічну практику Міжнародного словника з метрології VIM3 [2], який відображає розвиток поняттєво-термінологічного забезпечення сучасної метрології, а також рекомендацій Міжнародного Комітету Мір і Ваг щодо становлення нових задач метрології [3], суттєво розширює сферу її дослідження в таких галузях людської діяльності як медицина, торгівля, економіка, промисловість, освіта, психологія, соціологія, екологія, кваліметрія тощо.

Сьогодні чинним в Україні є стандарт ДСТУ 2681-94 [4] - вміст якого не відповідає сучасним вимогам в царині термінології [5-8]. Отже, виникла гостра необхідність розроблення нового нормативного документу "Метрологія. Терміни та означення".

Насамперед мова йде про розширене трактування порівняно із чинним ДСТУ 2681-94 ключового поняття метрології - "вимірювання" і пов'язаних з ним понять "величина" та "вимірювана величина", а також термінів "результат вимірювання" та "похибка (результату) вимірювання", що видно із відповідних означень, наведених у таблиці 1.

**Табл. 1 Метрологія та вимірювання: порівняння означень термінів у ДСТУ 2681-94 та VIM3**

№ з/п	ДСТУ 2681-94 [4]	VIM3 [2]
1.1	<b>Метрологія</b> - наука про вимірювання [4, п.4.2].	<b>Метрологія</b> (англ. - <i>metrology</i> )— наука про вимірювання та їх застосування [2, п.2.2].
1.2	<b>Вимірювання</b> - відображення вимірюваних величин їх значеннями шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів [4, п.4.1].	<b>Вимірювання</b> (англ. - <i>measurement</i> ) – процес експериментального знаходження (визначення) одного чи більше значень величини, які обґрунтовано можуть бути приписані величині [2, п.2.1].
1.3	<b>Вимірювана величина</b> - Фізична величина чи параметри її залежності, що підлягають вимірюванню [4, п.4.4].	<b>Вимірювана величина</b> (англ. - <i>measurand</i> ) - величина, що підлягає вимірюванню [2, п.2.3].
1.4	<b>(Фізична) величина</b> - властивість, спільна в кількісному відношенні у багатьох матеріальних об'єктів та індивідуальна в кількісному відношенні у кожного з них [4, п.3.1]	<b>Величина</b> (англ. - <i>quantity</i> ) - властивість явища, тіла або речовини, що може бути виражена кількісно у вигляді числа із відмінною (відмітною) ознакою як основою для порівняння [2, п.1.1]. Основою для порівняння (англ. - <i>reference</i> ) може бути одиниця вимірювання (одиниця величини), методика вимірювання, стандартний зразок або їх комбінація.
1.5	<b>Результат вимірювання</b> -значення фізичної величини, знайдене шляхом її вимірювання [4, п.5.2].	<b>Результат вимірювання</b> (англ. - <i>measurement result, result of measurement</i> ) - набір значень величини, що приписуються вимірюваній величині разом із будь-якою іншою доступною та суттєвою (істотною) інформацією [2, п.2.3]. Зазвичай, результат вимірювання виражається одним вимірним значенням величини і невизначеністю (непевністю) вимірювань.
1.6	<b>Абсолютна похибка (вимірювання)</b> - різниця між результатом вимірювання та умовно істинним значенням вимірюваної величини [4, п.5.2].	<b>Похибка вимірювання, похибка</b> (англ. - <i>measurement error, error of measurement, error</i> ) - різниця між <i>вимірним</i> значенням величини і <i>опорним</i> значенням величини [2, п.2.16].
1.7	-	<b>Вимірне значення величини</b> (англ. - <i>measured quantity value</i> ) - значення величини, яке представляє результат вимірювання [2, 2.16].
1.8	<b>Умовно істинне значення (фізичної величини); дійсне значення (фізичної величини)</b> - значення фізичної величини, знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинного значення, що його можна використати замість істинного для даної мети [4, п.3.25].	<b>Опорне значення величини, опорне значення</b> (англ. - <i>reference quantity value, reference value</i> ) - значення величини, яке використовується як основа для зіставлення зі значеннями величин того ж роду [2, п.5.18]. <i>Опорне значення</i> величини може бути <b>істинним значенням</b> величини, що підлягає вимірюванню, в такому разі воно <b>невідоме</b> , або <b>прийнятним значенням</b> величини, в такому разі воно <b>відоме</b> .
1.9	-	<b>Прийняте значення величини, прийняте значення</b> (англ. - <i>conventional quantity value</i> ) - значення величини, за угодою приписане величині для даної мети [2, п.2.12]. <i>Прийняте значення величини</i> зазвичай розглядають як таке, що має достатньо малу чи нехтовно малу (для певного аналізу) <b>невизначеність (непевність)</b> .

Розширення сфери дослідження сучасної метрології відображає відхід від звуженого зведення поняття “вимірюваної величини” до “фізичної величини” [3], оскільки фізична величина є лише однією із ряду можливих вимірюваних величин – фізичних, хімічних, біологічних, психологічних, соціологічних, економічних, оцінок якості продукції тощо.

Із наведеними вище поняттями безпосередньо пов'язане таке ключове поняття метрології як “єдність вимірювань” – стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в узаконених одиницях, а характеристики похибок або невизначеності (непевності) вимірювань відомі з певною ймовірністю і не виходять за встановлені границі [9], а також поняття “метрологічної простежуваності” (англ. - *metrological traceability*), коли отриманий результат вимірювання можна пов'язати із значенням величини, яке відтворюється національними або міжнародними еталонами через неперервний ланцюг звірянь, для кожного з яких зазначено характеристики невизначеності (непевності) [2].

Отже, у сучасній метрології мова йде не лише про єдність одиниць вимірювання, методів і методик вимірювання, методик опрацювання результатів вимірювальних експериментів, методів оцінювання точності результатів вимірювання тощо, але й про *єдність метрологічної термінології*. Однак, як видно із табл. 1, деякі ключові терміни, наведені у чинному ДСТУ 2681-94 [4], суттєво відрізняються від їх сучасного трактування згідно із VIM3 [2], що є його суттєвим недоліком.

Використання у метрологічній практиці єдиних, визнаних на міжнародному рівні термінів дає змогу забезпечити адекватний підхід до розуміння суті вимірювань, оцінювання точності та якості результатів вимірювань, до метрологічного забезпечення вимірювань, метрологічного простежування та взаємного визнання результатів вимірювань.

Зокрема, на думку авторів, насамперед доцільно акцентувати увагу на трактуванні понять, які або “застаріли” порівняно із VIM3 [2], або взагалі відсутні у ДСТУ 2681-94 [4]:

- поняття “вимірювання” і пов'язані з ним поняття “величина” та “вимірювана величина”;
- поняття, які характеризують точність вимірювань - “похибка (результату) вимірювання” і “непевність (результату) вимірювання”;
- нові поняття, які характеризують якість вимірювань - “метрологічна простежуваність”, “метрологічне співставлення” та “метрологічна сумісність” результатів вимірювань;
- поняття “метрологічної відповідності” засобів вимірювальної техніки, зокрема, їх “верифікації”, “калібрування” та “валідації”.

Однак, слід зазначити, що у ДСТУ 2681-94 [4] є означення ряду термінів, які точніше відображають їх метрологічну сутність, ніж у VIM3 [2], або взагалі відсутні у VIM3 [2]. Зокрема, йдеться про терміни “засіб вимірювальної техніки” та “метрологічні характеристики” засобів вимірювальної техніки (див. табл. 2).

Таблиця 2

**Засоби вимірювальної техніки: порівняння означень термінів у ДСТУ 2681-94 та VIM3**

№ з/п	ДСТУ 2681-94 [4]	VIM3 [2]
2.1	<b>Засіб вимірювальної техніки</b> - технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики [4, п.6.10]. <i>Примітка.</i> До засобів вимірювальної техніки відносять засоби вимірювань та вимірювальні пристрої.	<b>Засіб вимірювань</b> (англ. - <i>measuring instrument</i> ) - пристрій, що використовується для виконання вимірювань окремо або у поєднанні з одним або декількома додатковими пристроями [2, п.3.1]. <i>Примітка 1.</i> Засіб вимірювань, який можна використовувати окремо, є <i>вимірювальною системою</i> (англ. - <i>measuring system</i> ). <i>Примітка 2.</i> Засіб вимірювань може бути <i>показувальним вимірювальним приладом</i> (англ. - <i>indicating measuring instrument</i> ) або <i>матеріальною мірою</i> (англ. - <i>material measure</i> ).
2.2	<b>Метрологічні характеристики</b> - характеристики засобів вимірювальної техніки, які нормуються для визначення результату вимірювання та його похибок [4, п.7.1].	-
2.3	<b>Засіб вимірювань</b> - засіб вимірювальної техніки, - технічний засіб, який реалізує процедуру вимірювань [4, п.6.11].	-
2.4	<b>Вимірювальний пристрій</b> - засіб вимірювальної техніки, в якому виконується лише одна із складових частин процедури вимірювань (вимірювальна операція) [4, п.6.11].	-

Отже, у разі формування нового нормативного документу “Метрологія. Терміни та означення” доцільно враховувати як нові терміни VIM3 [2], так і терміни ДСТУ 2681-94 [4] та інших нормативних документів і наукових праць, виходячи з їх змісту та актуальності [9-13]. Також важливо зберегти певну специфіку трактування окремих метрологічних термінів, характерну для української науково-технічної лексики.

### Список літературних джерел

1. Володарський Є. Т. Понятійно-термінологічні аспекти сучасної метрології / Є.Т. Володарський, Л. О. Кошева // Український метрологічний журнал. – 2012. – № 1. – С. 3 – 10.
2. International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms (VIM3). JCGM 200:2012 (E/F). – 91 p.
3. Evolving Needs for Metrology in Trade, Industry and Society and the Role of the BIPM: A report prepared by the CIPM for the governments of the Member States of the Metric Convention. - Intergovernmental Organization of the Metric Convention, 2007. - 148 p.
4. Метрологія. Терміни та визначення: ДСТУ 2681-94. – [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 68 с. - (Державний стандарт України).
5. Дорожовець М. Проблеми термінології Державного стандарту України ДСТУ 2681 «Метрологія. Терміни та визначення» / М. Дорожовець, Б. Стадник // Вісник: Проблеми української термінології. Матеріали 6-ї Міжнародної наукової конференції. – 2000. – № 402. – 420 с.
6. Основи метрології та вимірювальної техніки: [підручник для вузів двох томів] / [М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник та ін.]; За ред. професора Б.І. Стадника. – Львів: Вид-во Національного університету “Львівська політехніка”. - 2005. - Т1. Основи метрології. – 532 с.; Т2. Вимірювальна техніка. – 656 с.
7. Микийчук М. М. Метрологічне забезпечення якості продукції на етапі виготовлення / М. М. Микийчук. – Монографія, вид-во Черемош, 2014. – 265 с.
8. Неєжмаков П. І. Реформа SI та перебудова системи еталонів електричних одиниць / П. І. Неєжмаков, Ю. Ф. Павленко, Н. М. Маслова // Український метрологічний журнал. – 2013. – № 1. – С. 3 – 13
9. Закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність”, №1314-VII від 05.06.2014р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2014 – (Бібліотека офіційних видань). – 28 с. – (Закон України).
10. Системи управління вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання: ДСТУ ISO 10012:2005 (ISO 10012:2003 IDT). – [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 19 с. - (Національний стандарт України).
11. Точність (правильність) і прецизійність методів і результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення: ДСТУ ГОСТ ISO 5725-1:2005. - [Чинний від 2005-30-12]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. –21 с. - (Національний стандарт України).
12. International Vocabulary of Terms in Legal Metrology: International document OIML D VIML2. - 3rd Committee Draft (VIML2 3CD). - 2011. -69p.
13. Бубела Т. Щодо трактування терміна «непевність результатів вимірювань» / Т. Бубела, П. Столярчук // Проблеми української термінології: міжнар. наук. конф., 25–27 верес. 2014 р. зб. наук. пр. – Л., 2014. – С. 32–33.



## ЗМІСТ

<b>СЕКЦІЯ 1 (SECTION 1)</b>	
<b>Теоретичні основи вимірювань, контролю та технічної діагностики</b>	
<i>Автор та назва доповіді</i>	<i>стор.</i>
<i>О. М. Васілевський, д.т.н., академік Академії метрології України Академія метрології України - національний представник від України в імко</i>	18
<i>І. М. Яворський, д.ф.-м.н., професор; Р. М. Юзефович, д.т.н., доцент; І. Й. Мацько, к.т.н.; Г.Р.Трохим, к.т.н. Виявлення локального дефекту підшипникового вузла методами періодично корельованих випадкових процесів</i>	21
<i>О.О.Міхаль, к. т. н, с.н.с., Д.В.Мелещук, к. т. н. Аналіз теоретичної моделі імпедансу двохелектродної кондуктометричної комірки</i>	23
<i>О. М. Васілевський, д.т.н., доцент Непевності констант закладених в переглянутій міжнародній системі одиниць (SI)</i>	24
<i>О. М. Vasilevskiy, DSc, V. V. Prysyzhnyuk, senior lecturer Chair Evaluation of dynamic measurement uncertainty of vibration acceleration</i>	26
<i>І. В. Троцишин, д.т.н., проф. Новітні принципи та методологія побудови ЦАП-АЦП нового покоління</i>	28
<i>О. Є. Малецька, к.т.н.; М. В. Москаленко, к.т.н. Аналіз визначення понять «метрологічні характеристики засобу вимірювальної техніки» та «невизначеність вимірювань під час калібрування»</i>	30
<i>Т. Г. Бойко, д.т.н., проф. О.-С. І. Корчинська, студент Оцінювання постачальників за результатами аудиту їх процесів згідно стандарту VDA 6.3</i>	32
<i>В. С. Єременко, д.т.н., доц.; В. М. Мокійчук, к.т.н., доц.; О. О. Редько, пров. інж. Метод коригування міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювань</i>	34
<i>В. М. Мокійчук, к.т.н., доц.; О. О. Редько, пров. інж.; О. В. Самойліченко, к.т.н., доц.; І. О. Шкільнюк, керівник лаб. Сучасні аспекти забезпечення єдності вимірювання у хімотологічних лабораторіях</i>	36
<i>Ю. Г. Ведміцький, к.т.н., доц. Тектологія динамічних систем і явище гіпервалентної взаємодії в структурних рівняннях узагальненого кола</i>	38
<i>В.П. Мотало, д.т.н., проф.; Б.І. Стадник, д.т.н., проф.; А.В. Мотало, к.т.н., нач. відділу Кваліметричні вимірювання: методологія взаємозв'язку метрології та кваліметрії</i>	40
<i>М.М.Микійчук, д.т.н., проф.; І.П.Микитин, д.т.н., проф.; О.М.Олесків, к.т.н.; Б. І. Стадник, д.т.н., проф.; Т.Фрільх, д.т.н., проф. Метрологічна перевірка програмного забезпечення засобів вимірювання</i>	42
<i>Л.Й. Воробйов, к.т.н., с.н.с. Методи та засоби квазідиференціальної калориметрії</i>	43
<i>А. О. Ісаченко, аспірант; В. М. Ільченко, к.т.н., с.н.с. Формування похибки вимірювального робота</i>	45
<i>Є. Т. Володарський, д.т.н., проф.; Л.О. Кошева, д.т.н., проф. Вплив невизначеності вимірювань на вірогідність прийняття рішення</i>	46
<i>О.Є. Середюк, д.т.н., проф., З.Л. Варша, д.т.н., В.В. Малісевич, к.т.н., Н.М. Малісевич Дослідження впливу теплофізичних параметрів природного газу на його теплоту згорання</i>	47
<i>Л. А. Назаренко, д.т.н., проф., Г. І. Петріченко, к.т.н. Фотометрія світлодіодів</i>	48
<i>М. О. Клевцова, директор ТОВ «Фабрика «Світязь» Забезпечення якості продукції малопотужного кондитерського виробництва на основі концепції «INDAstry 4.0»</i>	49
<i>С. І. Ковтун, к.т.н. Бюджет невизначеності при відтворенні одиниці поверхневої густини теплового потоку за законом Джоуля-Ленца</i>	51
<i>В. Д. Кузовик, д.т.н., проф.; О. В. Булігіна, к.т.н. доц.; О. Б. Іванець, к.т.н.,</i>	53

доц.;Ю. Ю. Оникієнко, к.т.н. Методика визначення параметрів ідентифікації льотного складу	
В. Д. Кузовик, д.т.н., проф.; О. Б. Іванець, к.т.н., доц.; В. Л. Кучеренко к.т.н., доц. Підвищення достовірності діагностування стійкості організму пілотів	54
В. Б. Большаков, д.т.н., с.н.с.; Н. І. Косач, д.т.н., проф. Сучасні підходи до визнання звт витрати	55
О. М. Vasilevskiy, DSc, Y. O. Danylyuk Methodology to evaluate the confidence level for calculation of the expanded uncertainty of measurement of ions activity	57
Е. Й. Маньковська, інженер Методика виконання та метрологічне забезпечення досліджень електрофізичних властивостей металевих аморфних стопів для цілей термометрії	59
Д. А. Півторак, к.т.н., ст. викладач; С. Л. Лакоза, асистент; О. С. Попов, студент Теоретичні основи використання фотографічного зображення для оцінки висоти сонця та його азимуту	61
О. П. Чабан, к.т.н.; О. В. Бойко, к.т.н., доц. Використання елементів теорії невизначеності у медичних системах підтримки прийняття рішень	63
В. М. Севастьянов, к.т.н., доц.; С. В. Зачиняєва Сертифікація персоналу в галузі готельного бізнесу	64
В. М. Ванько, д.т.н., проф.; О. М. Приходько, аспірант Ймовірнісний метод оцінки якості продукції з використанням FMEA-аналізу	66
О. М. Васілевський, д.т.н., В. М. Дідич, к.т.н., І. І. Андрікевич, к.м.н. Особливості застосування міжнародного стандарту iso 9001:2015 щодо медичних лабораторій	67
О. Ярмолук, аспірант, Н. Є. Гоц д.т.н., проф. Кваліметричний метод оцінювання якості банківських послуг зацікавленими суб'єктами	68
В. С. Маньковська, к.т.н.; Т. А. Коваль, студент; А. А. Кашканова, студент Оцінка показників якості розчинної кави	70
<b>СЕКЦІЯ 2 (SECTION 2)</b>	
<b>Первинні вимірювальні перетворювачі та сенсори.</b>	
<b>Прилади та методи контролю речовин, матеріалів та виробів</b>	
<b>Автор та назва доповіді</b>	<b>стор.</b>
О. В. Вовна, д.т.н., доц.; А. А. Зорі, д.т.н., проф.; І. С. Лактіонов, к.т.н.; Р. Н. Ахмедов, аспірант Удосконалення способу компенсації температурного дрейфу вихідного сигналу оптичного вимірювача концентрації метану	72
О. В. Осадчук, д.т.н., проф.; В. С. Осадчук, д.т.н., проф.; Я. О. Осадчук, асп. Радіовимірювальний тензочутливий перетворювач з активним індуктивним елементом	75
Yuriy Vashpanov, Dr. of Sci., Prof. Measurement of ethanol concentration with a new gas photovoltaic nanosensor	77
Й. Й. Білінський, д.т.н., проф., В. П. Стахов, аспірант Пасивний радіочастотний моноімітансний давач з аналого-цифровим перетворювачем	79
В. П. Квасніков, д.т.н., професор, В. А. Галицький Метод балансування резонатора вібраційного гіроскопу. Основні технічні вказівки	81
В. С. Осадчук, д.т.н., проф.; О. В. Осадчук, д.т.н., проф.; О. М. Жагловська, к.т.н., старший викладач; Д. С. Коваль, студент Вимірювач рівня рідини з частотним виходом на основі ємнісного чутливого елемента	84
Д. А. Ковальчук, аспірант; О. В. Мазур, к.т.н., доцент Лабораторна установка для дослідження систем утилізації тепла димових газів як об'єктів керування	86
С. О. Слободян, к.т.н., проф., І. С. Білюк, к.т.н., доц., А. А. Зубарев, Я. О. Дудков Удосконалення стенда для налагодження паливної апаратури газотурбінних	88

установок	
<i>В. В. Мартинюк, д.т.н., доц.; В. В. Котенев, аспірант</i> Прилад контролю захисного потенціалу антикорозійного захисту електричних нагрівачів води	89
<i>В. Ф. Граняк, к.т.н., В. В. Кухарчук, д.т.н., проф.</i> Система контролю технічних параметрів обертових електричних машин на основі використання коефіцієнтів взаємкореляції вібросигналів	91
<i>О. Є. Середюк, д.т.н., проф., Н. М. Малісевич, Т. В. Лютенко, аспіранти</i> Новий спосіб контролю теплоти згорання природного газу	93
<i>М. О. Катаєва, к.т.н., Н. В. Михалко</i> Розробка методу визначення аномальних відхилень геометричних параметрів авіаційної деталі	95
<i>В. І. Зимовець, аспірант</i> Оптимізація параметрів навчання системи функціонального контролю електроприводу шахтної підйомної машини	96
<i>Б. Г. Шабашкевич к.т.н., Ю. Г. Добровольський д.т.н.</i> Прилади для дослідження енергетичних та фотометричних характеристик оптичного випромінення	98
<i>Р. М. Джала, д.т.н., ст.н.с.; Б. Я. Вербенець, к.т.н.; М. І. Мельник, к.т.н.; Ю. М. Пугач, провідний інженер; О. М. Семенюк, провідний інженер</i> Контроль електрохімічного захисту за вимірами змінних і постійних напруг	100
<i>М.В. Бібик, аспірант</i> Функціональний контроль енергоблоку теплоцентралі	102
<i>В.Ю. Кучерук, д.т.н., проф.; О.М. Васілевський, д.т.н., проф.; П.І. Кулаков, д.т.н., проф.; І.А. Дудатєв, к.т.н., ст. викл.</i> Засіб контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок на основі оптико-абсорбційного методу	104
<i>Л.В.Кузьмич, к.т.н., доцент</i> Сучасний стан засобів та методів контролю деформацій та механічних напружень складних технічних систем	106
<i>В. С. Купко, к.т.н., Ю.М. Сковородкіна, інженер I кат.</i> Проведення порівняльних вимірювань на координатно-вимірювальних машинах різних виробників	107
<i>Б.Ч.Бердієв, методист, викладач вищої категорії; О.О.Попов, студент</i> The laboratory bench for determination of main metrological characteristics of primary measuring converters	108
<i>Р. В. Кокошко, аспірант; Б. А. Кріль, к.т.н., с.н.с., доц.; О. В. Кріль, старший викладач</i> Розробка витратомірів та допоміжних пристроїв для технологічного обліку повітря та вуглекислого газу	110
<i>Ю. В. Шабатура д.т.н., проф.; К. І. Снітков</i> Порівняльний аналіз застосування індукційного та магнітного давача кута в системі вертикального наведення гармати	112
<i>О.М. Романюк, аспірант; Б.А. Кріль, к.т.н., с.н.с., доц.; О.В. Кріль, старший викладач</i> Вдосконалення механічних концентратомірів паперової пульпи	114
<i>О. В. Бойко, к.т.н., доц.; Р. Л. Голяка, д.т.н., проф.; З. Ю. Готра, д.т.н., проф.; О. П. Чабан, к.т.н.</i> Функціонально-інтегровані сенсори теплових величин	116
<i>О. М. Васілевський, д.т.н., проф.; Н. І. Сторожук</i> Спосіб калібрування та лінеаризація вихідного сигналу термоанемометричного витратоміра	118
<i>В. Ю. Кучерук, д.т.н., професор, А. Рабінко, студент, А. Видмиш</i> Реалізація вимірювального каналу температури на базі ARDUINOMEGA 2560	120
<i>Т. І. Ганєва, к.т.н.</i> Синтез структурної схеми сенсора деформацій	123
<i>О.В. Заболотний, к.т.н., доц.</i> Первинний вимірювальний перетворювач вмісту вологи речовин, в якому конструктивно реалізовано принцип додавання води	125
<i>В. Ю. Кучерук, д.т.н., професор; М. В. Ліщун, студент, В. Тихонов</i> Мікропроцесорний кореляційний засіб вимірювання витрат рідини	127
<i>П.І.Кулаков, д.т.н., проф.; А.А.Видмиш, к.т.н., доц.; Р.С.Білієнко, магістрант; А.П.Кулакова, студент</i> Фотоелектричний вимірювальний перетворювач миттєвої інтенсивності молоковіддачі	128

<i>В. Ю. Кучерук, д.т.н., професор; О. О. Кучерук, студент</i> Термоанемометричний датчик швидкості потоку	129
<i>Б. М. Горкунов, д.т.н., проф.; С. Г. Львов, к.т.н., доц.; А. А. Тищенко, к.т.н., старший викладач; Шібан Тамер, аспірант</i> Електромагнітний багатопараметровий метод контролю циліндричних виробів	131
<i>П. І. Кулаков, д.т.н., К. О. Зубенко, магістр</i> Методика повірки засобу вимірювання рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата	132
<i>К. В. Овчинников, к.т.н.; А. В. Власюк, магістрант</i> Визначення діелектричних параметрів матеріалів на низьких і високих частотах	134
<i>К. В. Овчинников, к.т.н.; В. О. Палій, магістрант</i> Прилад для вимірювання мутності	135
<i>К. В. Овчинников, к.т.н.; Ю. О. Письменюк, студентка</i> Оцінка якості формування колісної бази вагонів залізничного транспорту	136
<i>П. І. Кулаков, проф. д.т.н.; А. О. Разовий, студент</i> Переносний засіб вимірювання кутової швидкості на основі фотоелектричного вимірювального перетворювача	137
<i>Д. О. Півторак, к.т.н.; О. М. Павловський, к.т.н., доц.; В. О. Аксініченко</i> Портативний цифровий прилад для вимірювання рівня освітленості	138
<i>Р. О. Матвійв, аспірант, В. О. Яцук, д.т.н.</i> Експериментальні дослідження переносних калібраторів напруги з самоналаштуванням	139
<i>І. С. Петришин, д.т.н., проф., О. А. Бас, к.т.н., Л. О. Присяжнюк, аспірант</i> Пробовідбірник – дозатор природного газу для калориметрів прямої дії	141
<i>Д. В. Прихожа, студентка, О. В. Катрук, асистент</i> Контроль вібрації зубчастих передач методом голографічної інтерферометрії	143
<i>С. Я. Петрів, асистент</i> Аналіз методів оперативного контролю мутності води	145
<i>О. М. Возняк доц. к.т.н, Тихонова С. В. ст.в., В. Д. Маціпура, студент</i> Лабораторний стенд для вимірювання параметрів періодичних сигналів	146
<i>Возняк О.М., Медяна І.Л., А.О.Пастушенко</i> Експериментальна оцінка метрологічних характеристик індикатора електромагнітного поля НВЧ	147
<i>О. М. Возняк, к.т.н., С. В. Тихонова; В.О. Кієнко, студент</i> Цифровий вольтметр на мікроконтролері	149
<i>К. В. Овчинников, к.т.н.; А. М. Дерепашук, студент</i> Оцінка якості лакофарбового покриття	150
<i>П.І.Кулаков, д.т.н., проф.; О.О.Плешко, студент</i> Порційний метод вимірювання параметрів молоковіддачі	151
<i>О. М. Возняк к.т.н., доцент; І. В. Климчук студент; В. К. Тихонов доцент</i> Аналіз методів вимірювання нестандартних параметрів чотириполюсника	153
<i>В. Ю. Кучерук, д.т.н.; В.М. Севастьянов, к.т.н., доц.; В.С. Маньковська, к.т.н., ст. викладач</i> Дослідження RL-діодного генератора детерміновано-хаотичного сигналу	154
<b>СЕКЦІЯ 3 (SECTION 3)</b> <b>Математичне моделювання процесів</b> <b>в засобах вимірювання, контролю та діагностики</b>	
<i>Автор та назва доповіді</i>	<i>стор.</i>
<i>О. О. Качмарчик, аспірант</i> Аналітична апроксимація кривих сили світла в середовищі системи mathematica	157
<i>С. В. Заболотний, д.т.н., доц.; Z. L. Warsza, PhD, Assoc. Prof. (emeritus)</i> Поліноміальне оцінювання центру симетричних двомодальних сумішей експоненційних розподілів	158
<i>Й. Й. Білинський, д.т.н., проф., К. В. Огородник, к.т.н., доц., О. О. Лазарєв, к.т.н., доц., А. В. Сироватський, магістрант</i> Розробка та дослідження математичної	159

моделі резонансного ультразвукового методу вимірювального контролю	
<i>Куц Ю. В., д.т.н., проф., О. В. Монченко, к.т.н., доц., Мазуренко Є. І., Ренецька Н. О., Редька М. О.</i> Використання зваженої $\chi^2$ -статистики для підвищення вірогідності виявлення сигналів ультразвукової товщинометрії	161
<i>В. Б.Мокін, д.т.н., проф.; О. Б.Мокін, д.т.н., проф.; Б. І.Мокін, д.т.н., проф.; С. О. Довгополюк, аспірант; І. О.Чернова, аспірант</i> Еквівалентування математичних моделей мінімально-фазових систем високого порядку в класі немінімально-фазових	162
<i>І. А. Омельчук, В. Ю. Кучерук, д.т.н., проф.</i> Статистичні методи оброблення результатів вимірювань та їх застосування для прогнозування міжкалібрувальних інтервалів	163
<i>О. В. Шматько, к.т.н., доцент; М. І. Мироненко, студент</i> Вхідний математичний опис геоінформаційної системи розпізнавання об'єктів на місцевості	165
<i>Я. В. Литвиненко, к.т.н., доц.; П. О. Марушак, д.т.н., проф.</i> Застосування адитивної математичної моделі циклічного випадкового процесу і поліноміальної функції для виявлення закономірностей динамічного руйнування магістрального газопроводу	167
<i>І. В. Коноваленко, к.т.н., доц.; П. О. Марушак, д.т.н., проф.</i> Дослідження застосування нейромережі для розпізнавання ямок відриву на поверхнях руйнування матеріалів	169
<i>Надія Бурау, д.т.н., професор, Сергій Рупіч, аспірант</i> Моделювання процесу багатокласового розпізнавання для локалізації пошкодження складного просторового об'єкта	171
<i>В. П.Квасніков В. П., д.т.н., проф.; Ю. В.Чорненький, аспірант</i> Моделювання похибки руху точки шарико-гвинтової пари	173
<i>Р. М. Джала, д.т.н., ст.н.с.; І. Б. Івасів, к.т.н.; О. О. Червінка; Л. Є. Червінка</i> Моделювання та експериментальні дослідження сигналу сенсора дифузного відбивання світла для оцінки концентрації та розмірів корозійних виразок на поверхні металу	174
<i>С. В. Романов; І. В. Сергєєв; Е. В. Опалько</i> Параметричні розрахунки напружено-деформованого стану трубопроводів першого контуру енергоблоків з реакторами ВВЕР-1000	176
<i>Р. Н. Квєтний, д.т.н., проф.; А. В. Олесенко, асп., асистент</i> Використання ентропії зображення в якості критерію відповідності алгоритму компресії RLE	178
<i>А. В. Писарець, к.т.н., доц.; І. В. Коробко, д.т.н., проф.</i> Моделювання роботи турбінних перетворювачів витрати з гідродинамічним врівноважуванням чутливого елемента	179
<i>Г. М. Тріщ, докторант; О. М. Черняк, аспірантка</i> Можливість використання чисельного моделювання іонізуючого випромінювання для знезаражування робочого одягу	181
<i>М. Ф. Ковальов, к.т.н., проф., Н. А. Зубрецька, д.т.н., проф., С. С. Федін, д.т.н., проф.</i> Моделювання градуальної характеристики термісторів непараметричними методами обробки даних	182
<i>С. М. Цирульник, к.т.н., доц., А. О. Метелиця, В. М. Ткачук</i> Математична модель густини потоку потужності для дослідження властивостей симетричного вібратора в ближній зоні	184
<b>СЕКЦІЯ 4 (SECTION 4)</b>	
<b>Інформаційно-вимірювальні системи, біотехнічні та медичні прилади і системи</b>	
<i>Автор та назва доповіді</i>	<b>стор.</b>
<i>Н. О. Пунченко, к.т.н.</i> Теоретичне обґрунтування аналітичних показників для	187

оцінювання функціональних характеристик адаптивних інформаційно – вимірювальних навігаційних систем	
<i>В. П. Квасніков, д.т.н., О. В. Діхтієвський</i> Адаптивна система вимірювання геометричних параметрів на верстатах з числовим програмним керуванням	189
<i>В. Т. Дмитрів, д.т.н., доцент; П.П. Яцунський, аспірант</i> Пневмоелектромагнітний пульсоколектор, як елемент системи автоматики	191
<i>В. М. Ванько, д.т.н., проф., Н. М. Клепач</i> Моніторинг якості електроенергії у мережах на підставі дослідження струмів різноманітного устаткування	193
<i>Т. З. Бубела, д.т.н., доц., Є. В. Походило, д.т.н., проф.; Т. І. Федішин, студентка</i> Апаратна реалізація підсистеми збору інформації для кібер-фізичної системи моніторингу агровиробництва	194
<i>Ю. І. Петров, аспірант НАУ (Україна, Київ)</i> Метод обробки ефективності. Система збору і обробки інформації у засобах контролю сигналів електро-дермальної активності	196
<i>І. В. Дмитрів, к.т.н.</i> Аналіз основних діагностувальних параметрів систем доїння	198
<i>Р. Н. Кветний, д.т.н., проф.; Є. О. Титарчук, аспірант</i> Хмарна система обміну електронними грошима на основі алгоритму частково гомоморфного шифрування	200
<i>А. В. Кожем'яко, к.т.н., доц.; О. О. Сидорук, ст.; А. В. Шевчук, ст.; М. І. Урсан, ст.</i> Розподілена оптоелектронна система екологічного моніторингу в режимі реального часу	202
<i>А. С. Довбиш д.т.н., проф.; В. С. Пятаченко, студент</i> Інтелектуальний протез кінцівки руки з неінвазивною системою зчитування біосигналів	204
<i>М. М. Биков, к.т.н., проф.; А. Раїмі, PhD, професор; А. С. Алексеєнко</i> Надійність передачі рангової інформації в системах розпізнавання і технічної діагностики	206
<i>О. І. Варченко доцент; М. С. Граф, аспірант</i> Дерево властивостей для інформаційних технологій передачі даних між бортовим комп'ютером безпілотного повітряного судна та оператором	207
<i>А. В. Рудик, к.т.н., доц.</i> Порівняльний аналіз точнісних характеристик класичної та акселерометричних інерціальних навігаційних систем	209
<i>В. В. Герасимов, кандидат фіз.-мат. наук, доцент; О. О. Молнар, кандидат фіз.-мат. наук, доцент; І. П. Курітник, доктор технічних наук, професор</i> Тенденції розвитку технічних систем «розумного одягу»	211
<i>В. Ю. Кучерук, д.т.н., професор, М. В. Глушко, магістр, О. Митковський</i> Покращення алгоритму itemtoitem методу колаборативної фільтрації для розробки рекомендаційних систем шляхом оцінки релевантності	213
<i>В. Ю. Кучерук, д.т.н., проф.; Р. І. Ліщук, к.т.н.</i> Архітектура інформаційно-вимірювальної системи для випробувань стрілочних вимірювальних приладів	215
<i>В. Т. Дмитрів, д.т.н., Б. С. Красниця, аспірант, І. В. Дмитрів, к.т.н., Ю. М. Лаврик, к.т.н.</i> Мікропроцесорні модулі адаптивної кібер-фізичної системи процесу виробництва молока	217
<i>В. Ю. Кучерук, д.т.н., проф.; В. П. Романєєва, ТС «Винахідник»; І. А. Дудатьєв, к.т.н.</i> Дослідження мобільних автоматизованих технічних систем на базі освітнього пакету lego mindstorms	219
<i>В. В. Паракуда, к.т.н., доц., Б. І. Стадник Б. І., д.т.н., проф., Н. Є. Гоц д.т.н., проф.</i> Metrology 4.0, як актуальний напрямок розвитку інформаційно-вимірювальних систем	221
<i>Д. Г. Матвієнко</i> Розробка системи візуалізації медико-екологічних баз даних. Радіаційний блок	222
<i>С. М. Цирульник, к.т.н., доц., В. І. Роптанов, к.т.н., доц., В. М. Ткачук, викладач</i> Дослідження інтерфейсів інформаційно-вимірювальних систем	224

<i>В. Ю. Кучерук, д.т.н., проф.; П. І. Кулаков, д.т.н., проф.; Д. В. Мостовий, аспірант; А. П. Кулакова, студент</i> Математична модель проходження оптичного випромінювання видимого діапазону крізь водно-молочний розчин	226
<i>О. М. Васілевський, д.т.н., проф.; Д. М. Компанець, аспірант</i> Сучасні системи управління автоматизованим наливом нафтопродуктів на нафтобазах. Фактори, що впливають на точність вимірювання	228
<i>О. М. Васілевський, д.т.н., професор, В. П. Мазур, студент</i> Основні проблеми дослідження надійності програмного забезпечення	229
<i>Горбань Д. В., студент; Безуглий М. О., к.т.н., доц.</i> Дослідження тканин мозку методами еліпсоїдальної фотометрії	230
<i>К. В. Овчинников, к.т.н.; Т. К. Сидорчук, магістрант</i> Автоматизована система вимірювання характеристик НТС терморезисторів	231
<i>К. А. Федорчак, студентка; Ю. Ю. Іванов, к.т.н., ас.</i> Деякі аспекти завадостійкого кодування турбо-кодів-добутків у цифрових системах передавання даних	232
<i>Hlushchenko A. A., Kompanets M. M., docent</i> Information processing methods based on qlik indexing engine platform	233
<i>В. Ю. Кучерук д.т.н, професор; Я. О. Білецький студент, С. Тихонова</i> Мікропроцесорний контролер сонячного колектора	234
<i>О. М. Слабик, аспірант, Ф. Д. Матіко, д.т.н., доц., Л. В. Лесовой, д.т.н., проф.</i> Проектування систем вимірювання кількості теплової енергії на основі витратомірів змінного перепаду тиску	235
<i>Р. В. Маслій, к.т.н., ст. викладач; В. В. Гармаш, к.т.н., ст. викладач; О. М. Кириленко, аспірант</i> Системи розпізнавання об'єктів у зображеннях отриманих у складних умовах освітлення	237
<i>Р. М. Федоришин, к.т.н., доц.; Ф. Д. Матіко, д.т.н., доц.; Є. П. Пістун, д.т.н., проф.</i> Особливості вимірювання температури потоку природного газу в системах його обліку	238
<i>П. І. Кулаков, д.т.н., проф.; О. В. Мельничук, студент</i> Система радіочастотної ідентифікації рухомих тварин з двоконтурною ортогональною антеною	239
<i>С. М. Кватернюк, к.т.н., доц.; М. В. Варушечкіна, студ.; С. В. Мандебура, студ.; А.Ю. Козачук, студ.</i> Опосередковані мультиспектральні вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ	241
<i>С. М. Кватернюк, к.т.н., доц.; В. Г. Петрук, д.т.н., проф.; М. В. Варушечкіна, студ.; С. В. Мандебура, студ.; А. Ю. Козачук, студ.</i> Мультиспектральний контроль інтегральних параметрів забруднення стічних вод з використанням вищих водних рослин	242
<i>С. М. Кватернюк, к.т.н., доц.; М. В. Варушечкіна, студ.; С. В. Мандебура, студ.; А. Ю. Козачук, студ.</i> Мультиспектральний телевізійний контроль середніх розмірів частинок у неоднорідних біологічних середовищах	243
<i>С. М. Кватернюк, к.т.н., доц.; О. Є.Кватернюк, викл.; М. В. Варушечкіна, студ.; С. В. Мандебура, студ.; А. Ю. Козачук, студ.</i> Мультиспектральна телевізійна вимірювальна діагностика злякисних пухлин з введенням підшкірно флуоресцентного препарату	244
<i>С. М. Кватернюк, к.т.н., доц.; О. Є. Кватернюк, викл.; М. В. Варушечкіна, студ.; С. В. Мандебура, студ.; А. Ю. Козачук, студ.</i> Сегментація мультиспектральних зображень пошкоджених ділянок неоднорідних біологічних середовищ	245
<i>Я. А. Кулик, к.т.н., ст. викл.</i> Застосування технології «інтернет для речей» для інформаційно-вимірювальної системи	246
<i>В. Є. Кривоносов, доцент, С. М. Зленко, д.т.н., професор, Т. А. Чернишова, Я. І. Ярославський</i> Алгоритм діагностики стану болтового струмопровідного з'єднання комп'ютерного томографа	248

<i>О. V. Bisikalo, Dr. Sc., Prof.; P. I. Kulakov, Dr. Sc., Prof.; N. V. Lyahovchenko, Ph.D., Assoc.</i> New methods of knowledge monitoring of masters in information systems in the international project “MASTIS” of ERASMUS + PROGRAM	250
<i>Н. В. Івчук, студентка; Ю. Ю. Іванов, к.т.н., ас.</i> Особливості завадостійкого кодування кодів з низькою щільністю перевірок на парність у цифрових системах зв'язку	251
<i>О. Л. Заміховська, к.т.н., доц.; О. І. Белей, к.т.н.; О. М. Лисканич, провідний інженер</i> Удосконалення системи контролю рівня паводкових вод	252
<i>О. Ю. Мірзоєва, аспірант</i> Аналіз причин та факторів, що призводять до виникнення дефектів у камері згоряння газоперекачувального агрегату	253
<i>А. Б. Романюк, аспірант</i> Аналіз методів діагностування штангових глибиннонасосних установок для видобутку нафти	255
<i>Л. М. Заміховський, д.т.н., проф.; В. В. Павлик, начальник служби КВПіА Богородчанського ЛВУМГ</i> Дослідження технічного стану гпа гтк 25і методами дискримінантного аналізу	256
<i>О. Ярмолюк, аспірант, Н.Є. Гоц д.т.н., проф.</i> Кваліметричний метод оцінювання якості банківських послуг зацікавленими суб'єктами	258
<i>В. В. Присяжнюк ст. викл.; В. С. Коваль, студентка</i> Автоматизована система управління оптимізації витрат тепла для обігріву приміщень	260
<i>П.І.Кулаков, д.т.н., проф.; У.С.Мельничук, магістрант; А.П.Кулакова, студент</i> Дискретний вимірювальний перетворювач рівня молока у молокоприймальній камері	263
<i>Л. М. Заміховський, д.т.н., проф.; Н.І. Іванюк, асистент</i> Використання програмного середовища TIA PORTAL для обробки вібродіагностичної інформації на базі модуля SM 1281 SIEMENS	264
<i>Л. М. Заміховський, д.т.н., проф.; О. М. Лисканич, пров. інженер</i> Інтелектуальний давач – універсальний індикатор втоми елементів бурильної колони	266



**СЕКЦІЯ 1 (SECTION 1)**  
**Теоретичні основи вимірювань, контролю та**  
**технічної діагностики**

**О. М. Васілевський, д.т.н., академік Академії метрології України**  
**АКАДЕМІЯ МЕТРОЛОГІЇ УКРАЇНИ - НАЦІОНАЛЬНИЙ ПРЕДСТАВНИК ВІД**  
**УКРАЇНИ В ІМЕКО**

Ключові слова: вимірювання, міжнародна конфедерація з вимірювань, академія метрології України, метрологія, національний представник від України

У період з 5 по 6 вересня 2016 року в Угорщині (м. Будапешті) відбулося засідання 59-ї сесії Генеральної ради Міжнародної конфедерації з вимірювальної техніки і приладобудування (International Measurement Confederation; ІМЕКО), на якому відповідно до звернення Академії метрології України (АМУ) було винесено на голосування питання щодо її обрання членом-організацією в ІМЕКО від України. Відповідно до Звіту Генерального комітету ІМЕКО з перевірки повноважень АМУ, згідно з пунктом 59.13 резолюції Президента ІМЕКО професора К.Т.В. Grattan від 6 вересня 2016 року цієї сесії, Академію метрології України було одногослоно прийнято організацією-членом ІМЕКО - національним представником від України з 1 січня 2017 року [1].

ІМЕКО – це неурядова конфедерація, створена у 1958 році, на сьогодні об'єднує національні організації, наукові та інженерні спільноти більш ніж 40 країн світу, діяльність яких направлено на розвиток технологій і забезпечення єдності вимірювань. Вищий керівний орган ІМЕКО - Генеральна рада, яка збирається раз на 3 роки; виконавчий орган - Секретаріат зі штаб-квартирою у Будапешті (Угорщина). Конфедерація має консультативний статус при ЮНЕСКО і ЮНІДО, є однією з таких п'яти споріднених міжнародних організацій у рамках FIACC: IFAC - Міжнародна федерація з автоматичного управління, IFIP - Міжнародна федерація з опрацювання інформації, IFORS - Міжнародна федерація оперативних досліджень суспільства, IMACS - Міжнародна асоціація з математики і комп'ютерного моделювання [1, 2].

У відповідності зі своїм Положенням основною метою ІМЕКО є «Створення умов для співпраці між науковцями та інженерами у вивченні проблем в галузі метрології та вимірювальної техніки, вирішення проблем створення системи природних фізичних величин, їх одиниць, шкал і еталонів, визначення теоретичних і практичних границь точності вимірювань, сприяння міжнародному обміну науково-технічною інформацією, що відноситься до розроблень у галузі вимірювальної техніки, приладобудування, виробництва і застосування контрольно-вимірювальних приладів в наукових дослідженнях та в промисловості».

Академія метрології України як організація-член ІМЕКО має можливості більш ефективно реалізовувати своє призначення і виконувати завдання, передбачені її Статутом, затвердженим Установчими загальними зборами засновників (протокол № 1 від 21.06.2011) та зареєстрованим Головним управлінням юстиції в м. Києві (Свідоцтво № 0006-2012 Г.О. від 20.01.2012), і, зокрема:

- сприяти міжнародному співробітництву вчених та інженерів України з метою обміну досвідом у вивченні проблем у сфері метрології та вимірювальної техніки;
- брати участь у роботі технічних комітетів ІМЕКО (на сьогодні визначаються персоналії АМУ для роботи у конкретних ТС);
- збирати документи для всесвітніх конгресів ІМЕКО і заходів технічних комітетів;
- брати участь у відборі робіт для забезпечення високого наукового рівня всесвітніх конгресів, інших заходів ІМЕКО та у розподілі АСТА ІМЕКО (повних праць Всесвітніх конгресів ІМЕКО), інших публікацій, сприяючи гласності ІМЕКО в Україні;
- заохочувати наукові та комерційні кола брати участь у виставках, організованих у зв'язку з проведенням Всесвітніх конгресів ІМЕКО;
- створювати, за необхідності, Національний комітет (НС) ІМЕКО для підтримання різних видів діяльності всередині країни, оскільки ІМЕКО може працювати в будь якій країні світу лише через відповідну організацію-члена ІМЕКО, в Україні - Академія метрології України.

Офіційним представником, уповноваженим координувати діяльність АМУ в ІМЕКО і, зокрема, брати участь у щорічних засіданнях Генеральної ради Міжнародної конфедерації з вимірювальної техніки і приладобудування від Академії метрології України, як організації-члена ІМЕКО з України, призначено дійсного члена Академії метрології України, доктора технічних наук, професора кафедри метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету Васілевського Олександра Миколайовича [1, 3].

Для ефективної реалізації свого призначення на міжнародному рівні Академія метрології України у 2017 році звернулася до ІМЕКО з пропозицією (рекомендацією) включення до діючих технічних комітетів ІМЕКО членів АМУ і висококваліфікованих експертів у сфері метрології та метрологічної діяльності, відповідно до розглянутого і затвердженого на загальних зборах АМУ списку, що наведений у табл. 1.

Таблиця 1 – Список рекомендованих представників від АМУ в технічних комітетах ІМЕКО

№	Last Name, First Name	Membership AMU	Science degree	Place of work, post
<b>TC1 - Education and Training in Measurement and Instrumentation</b>				
1	Kosach Nataliya I.	Academician the Academy Metrology of Ukraine	DSc	National aerospace university M.E. Zhukovsky "KhAI", Professor of department "Aviation devices and measuring"
<b>TC2 - Photonics</b>				
1	Tymoshenko Yaroslav M.	Expert	-	SE "Ukrmetrteststandart" Head Department of optical-physical measurements
<b>TC3 - Measurement of Force, Mass and Torque</b>				
1	Tsiporenko Olexandr V.	Expert	-	SE "Ukrmetrteststandart" Head laboratory of force and torque measurements
2	Tsiporenko Serhii V.	Expert	-	SE "Ukrmetrteststandart" Head Department of mass
<b>TC4 - Measurement of Electrical Quantities</b>				
1	Surdu Michael M.	Academician the Academy Metrology of Ukraine	DSc	AMU
<b>TC7 - Measurement Science</b>				
1	Csherepkov Serhii T.	Academician the Academy Metrology of Ukraine	DSc	SE "Ukrmetrteststandart" Director Institute of national metrology service of Ukraine
<b>TC8 - Traceability in Metrology</b>				
1	Kuzmenko Yurii V.	Corresponding member AMU	PhD	SE "Ukrmetrteststandart" Deputy director general
2	Pronenko Serhii V.	Corresponding member AMU	-	SE "Ukrmetrteststandart" Head Department of international cooperartion in metrology
<b>TC9 - Flow Measurement</b>				
1	Nedzelskyi Sergii D.	Corresponding member AMU	PhD	ENERGOUCHET PrJSC Chief metrologist
2	Bas Olexander A.	Corresponding member AMU	PhD	SE "Ivano-Frankivsk Research-and- Production Center for Standardization, Metrology and Certification", Senior Researcher
<b>TC10 - Technical Diagnostics</b>				
1	Shevchenko Oleksandr I.	Academician the Academy Metrology of Ukraine	DSc	Main astronomic observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine, Leading engineer of scientific and technical department

TC12 - Temperature and Thermal Measurements				
1	Hots Nataliya E.	Academician the Academy Metrology of Ukraine	DSc	National University "Lviv Polytechnic", Professor of department "Metrology, Standardization and Certification"
2	Yatsyshyn Svyatoslav P.	Academician the Academy Metrology of Ukraine	DSc.	National University "Lviv Polytechnic" Professor of department "Information-measuring technology"
TC13 - Measurements in Biology and Medicine				
1	Shevchenko Kostyantyn L.	Academician the Academy Metrology of Ukraine	DSc	National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Professor the Department of automation of experimental researches
TC20 - Measurements of Energy and Related Quantities				
1	Stetsenko Andrii A.	Corresponding member AMU	PhD	ENERGOUCHET PrJSC, Director
TC22 - Vibration Measurement				
1	Samoylenko Olexandr M.	Academician the Academy Metrology of Ukraine	DSc	SE "Ukrmetrteststandart" Director Institute of dimensional and mechanical measurements
2	Ivaschenko Andriy P.	Expert	-	SE "Ukrmetrteststandart" Head Department of acoustic and vibration
TC24 - Chemical Measurements				
1	Glebov Andriy.	Expert	PhD	SE "Ukrmetrteststandart" Director Institute "MetChimEnergoTest"
2	Mikhailieva Maryna S.	Expert	PhD	Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy as. prof. of Department of Electromechanics and Electronics

Рішення щодо прийняття членів АМУ і експертів у сфері метрології від України до технічних комітетів ІМЕКО, рекомендованих АМУ розглянуто на засіданні 60-ї сесії Генеральної ради Міжнародної конфедерації з вимірювань, що проводилася 2-8 вересня 2017 року в Китайській Народній Республіці [4]. Офіційне повідомлення щодо прийняття членів АМУ і експертів у сфері метрології від України буде згодом направлено національному представнику від України в ІМЕКО – Академії метрології України.

#### Список використаних джерел

1. Большаков В., Васілевський О. Академія метрології України — національний представник від України в ІМЕКО // Метрологія та прилади. - 2016. - № 5. - С. 3-4.
2. <http://www.imeko.org/index.php/about-imeko>
3. <http://www.imeko.org/index.php/organization/members/948-ukraine>
4. <http://www.imeko.org/>

**І. М. Яворський, д.ф.-м.н., професор; Р. М. Юзефович, д.т.н., доцент;  
І. Й. Мацько, к.т.н.; Г. Р. Трохим, к.т.н.**

### **ВИЯВЛЕННЯ ЛОКАЛЬНОГО ДЕФЕКТУ ПІДШИПНИКОВОГО ВУЗЛА МЕТОДАМИ ПЕРІОДИЧНО КОРЕЛЬОВАНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ**

Ключові слова: підшипниковий вузол, вібрації, періодично корельований випадковий процес, локальний дефект, характерні ознаки дефекту.

Виникнення дефектів у елементах механічних систем спричиняє нелінійні ефекти у властивостях вібраційних коливань. Такі ефекти приводять як до появи нових гармонік у детермінованій складовій вібрації, так і до взаємодії цієї складової зі стохастичними коливаннями, які зумовлені флуктуаціями товщини та в'язкості змазки, змінами сил тертя, спонтанними й некерованими змінами робочих навантажень тощо. У результаті вказаної взаємодії порушується строга періодичність детермінованих коливань, вони модулюються за фазою та амплітудою.

У багатьох випадках характеристики такої модуляції є важливими носіями інформації про стан того чи іншого об'єкту. Відмічені властивості вібрацій можуть бути адекватно описані математичною моделлю у вигляді періодично корельованих випадкових процесів, які представляються сумою модульованих за амплітудою та фазою гармонік з кратними частотами [1, 2]:

$$\xi(t) = \sum_{k \in Z} \xi_k(t) e^{ik\omega_0 t}, \quad (1)$$

де  $\xi_k(t)$  – стаціонарно зв'язані випадкові процеси,  $\omega_0 = 2\pi/T$ ,  $T$  – період нестаціонарності.

Математичне сподівання процесу (1)  $m(t) = E\xi(t)$ , де  $E$  – оператор імовірнісного усереднення,

та його кореляційна функція  $b(t, u) = E\overset{\circ}{\xi}(t)\overset{\circ}{\xi}(t+u)$ , де  $\overset{\circ}{\xi}(t) = \xi(t) - m(t)$ , періодично змінюються за часом  $t$  і можуть бути представлені рядами Фур'є:

$$m(t) = \sum_{k \in Z} m_k e^{ik\omega_0 t} = m_0 + \sum_{k \in N} (m_k^c \cos k\omega_0 t + m_k^s \sin k\omega_0 t),$$

$$b(t, u) = \sum_{k \in Z} B_k(u) e^{ik\omega_0 t} = B_0(u) + \sum_{k \in N} (B_k^c(u) \cos k\omega_0 t + B_k^s(u) \sin k\omega_0 t),$$

при цьому  $m_k = \frac{1}{2}(m_k^c - im_k^s)$ ,  $B_k(u) = \frac{1}{2}(B_k^c(u) - iB_k^s(u)) \forall k \neq 0$ , а  $Z$  і  $N$  є множинами, відповідно, цілих і натуральних чисел. Коефіцієнти Фур'є  $m_k$  є математичними сподіваннями модулюючих процесів  $m_k = E\xi_k(t)$ , а коефіцієнти Фур'є кореляційної функції  $B_k(u)$  (їх називають кореляційними компонентами [1, 2]) визначаються формулою

$$B_k(u) = \sum_{l \in Z} R_{l-k, l}(t) e^{il\omega_0 u}, \quad (2)$$

де  $R_{lk}(u) = E\overset{\circ}{\xi}_l(t)\overset{\circ}{\xi}_k(t+u)$ ,  $\overset{\circ}{\xi}_l(t) = \xi_l(t) - m_l$ , а “ $\overset{\circ}{\phantom{x}}$ ” – знак спряження. Як випливає з (2), нульовий кореляційний компонент  $B_0(u)$  визначається автокореляційними функціями модулюючих процесів  $\xi_k(t)$ , а кореляційні компоненти номерів  $k$  – взаємокореляційними функціями тих модулюючих процесів, номери котрих відрізняються на число  $k$ .

Змінна спектральна густина

$$f(\omega, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} b(t, u) e^{-i\omega u} du$$

також є періодичною функцією і може бути представлена у вигляді ряду Фур'є:

$$f(\omega, t) = \sum_{k \in Z} f_k(\omega) e^{ik\omega_0 t}.$$

Її коефіцієнти Фур'є – спектральні компоненти  $f_k(\omega)$ , є перетвореннями Фур'є кореляційних компонентів:

$$f_k(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} B_k(u) e^{-i\omega u} du = \sum_{l \in \mathbb{Z}} f_{l-k,l}(\omega - l\omega_0).$$

Нульовий кореляційний компонент  $B_0(u)$  є кореляційною функцією стаціонарного наближення ПКВП, а нульовий спектральний компонент  $f_0(\omega)$  визначає розклад за частотами усередненої за часом потужності коливань. Він є суперпозицією зсунутих по частоті на величину  $l\omega_0$  спектральних густин потужності модулюючих процесів.

Періодична функція  $m(t)$  та її коефіцієнти Фур'є  $m_k$  описують властивості детермінованих вібрацій, а кореляційна функція  $b(t,u)$ , спектральна густина  $f(\omega,t)$ , кореляційні компоненти  $B_k(u)$  і спектральні компоненти  $f_k(\omega)$  – властивості стохастичних коливань. Всі ці величини можуть бути використані при дослідженні стану механізму. При цьому, як показали дослідження [1, 3], за характеристиками періодичної нестационарності другого порядку, якими є кореляційні та спектральні компоненти ненульових номерів, можна виявляти дефекти механізмів вже на ранніх стадіях, а також оцінювати ступінь їх розвитку. Інформативними тут є як гармонічні склади величин  $b(t,u)$  та  $f(\omega,t)$ , а також залежності кореляційних компонентів від зсуву та спектральних компонентів від частоти. Наведені вище співвідношення є основою для верифікації ПКВП-моделі, а також інтерпретації обробки експериментальних даних.

На основі аналізу вібрацій підшипникового вузла декантера методами ПКВП виявлено та описано його значне пошкодження, яке має ударний характер [4]. Таке пошкодження виразно відображається як у гармонічному складі детермінованих періодичних коливань, так і в кореляційно-спектральній структурі стохастичної складової. Детерміновані коливання мають значну потужність, а їх амплітудний спектр є досить широким – значущими є біля 40 гармонік. Широкий спектром характеризуються також періодичні зміни потужності стохастичної складової. Показники нестационарності як першого, так і другого порядків вказують на присутність розвинутого локального дефекту підшипникового вузла. Стохастичні вібраційні коливання можуть бути представлені у вигляді суперпозиції височастотних гармонік, промодульованих за амплітудою та фазою вузько смуговими стаціонарними випадковими процесами. Залежності від зсуву кореляційних характеристик таких коливань мають групову структуру, а спектральні мають вигляд гребінки, відстань між вершинами сусідніх піків якої дорівнює частоті обертання валу і зосереджені в смузі частот  $[1 \text{ кГц}, 2.5 \text{ кГц}]$ . Встановлені особливості кореляційно-спектральної структури стохастичних коливань дали змогу зробити висновок про значне локальне пошкодження валу механізму. Такі результати можуть бути використані в подальшому як для раннього виявлення дефектів механізмів, так і встановлення їх типів.

#### Список літературних джерел

1. Яворський І. М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. – Львів : Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України. – 802 с.
2. Javors'kyj I., Leskow J., Kravets I. et al. Linear filtration methods for statistical analysis of periodically correlated random processes. Part II : Harmonic series representation // Signal Processing. – 2011. – 91. – P. 2506–2519.
3. Javors'kyj I., Kravets I., Matsko I., Yuzefovych R. Periodically correlated random processes: application in early diagnostics of mechanical systems // Mechanical system and signal processing. – 2017. – 83. – P. 406–438.
4. Мацько І.І. Аналіз вібраційного сигналу підшипникового вузла з розвитим дефектом на основі методів статистики періодично корелюваних випадкових процесів // Технічна діагностика і неспроможний контроль. – 2017. – № 2. – С. 23–32.

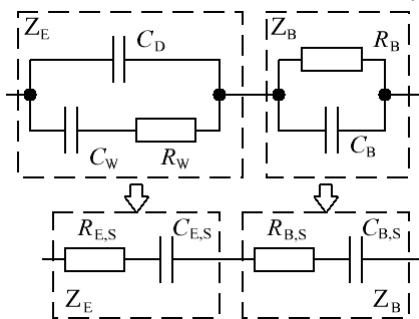
О.О.Міхаль, к. т. н., с.н.с., Д.В.Мелешук, к. т. н.

## АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНОЇ МОДЕЛІ ІМПЕДАНСУ ДВОХЕЛЕКТРОДНОЇ КОНДУКТОМЕТРИЧНОЇ КОМІРКИ

Ключові слова: вимірювання, схема заміщення, інтерфейс, імітанс, розчин, провідність.

Більшість вимірювань в контактній кондуктометрії проводять на змінному струмі, щоб виключити гідроліз і не використовувати складні оборотні електроди. На змінному струмі опір комірки є комплексною величиною, деяким імітансом. Її електрична модель представлена багатоеlementною схемою заміщення. Кожен з елементів є функцією багатьох параметрів, що впливають на точність перетворення. У той же час результат вимірювання імітансу комірки може бути представлений сучасними засобами лише у вигляді двох складових. У нашій доповіді представлені результати теоретичного аналізу моделі двоелектродної комірки для виявлення інформативних і неінформативних параметрів.

Область простору, в якому розглядаються явища, викликані протіканням змінного струму з електрода в розчин, в електрохімії називають інтерфейсом. У ньому закладено принцип суперпозиції процесів, що відбуваються в двох областях: на кордоні метал/розчин і в об'ємі розчину. Принципу суперпозиції відповідає послідовне падіння напруги спочатку на the interfacial region, а потім в the bulk solution. Відповідно до цього узагальнена електрична модель (імітансна модель) інтерфейсу повинна містити два послідовно включених імпеданса  $Z_E$  і  $Z_B$ . Тоді, щоб окремо досліджувати обидва процеси, необхідно використовувати двоелементну послідовну схему заміщення для кожного імпедансу з параметрами відповідно:  $R_{E,S}$ ,  $C_{E,S}$  та  $R_{B,S}$ ,  $C_{B,S}$ .



Природа явищ, що виникають на межі електрод/електроліт досить складна. Тому для кондуктометричних досліджень використовується спрощена схема Рейндлса ( $Z_E$  на рис.). Де  $R_W$  та  $C_W$  – параметри імпедансу Варбурга  $Z_W$ ,  $C_D$  – ємність подвійного шару,  $W$  – стала Варбурга. Теоретичний аналіз частотних характеристик схеми заміщення показує, що при прагненні частоти до нескінченності, параметр  $R_{E,S}$  прямує до нуля, а параметр  $C_{E,S}$  прагне до ємності подвійного шару  $C_D$ .

Електричною моделлю об'ємного імпедансу  $Z_B$  є двоелементна паралельна схема заміщення, що складається з параметрів  $R_B$  та  $C_B$  ( $Z_B$  на рис.). Перетворюючи її в послідовну схему заміщення, отримуємо параметри  $R_{B,S}$  та  $C_{B,S}$ .

Таким чином, повний імпеданс інтерфейсу:  $Z_C = Z_B + Z_E$ . Частотна залежність його активної складової має складний характер. Можна виділити три частотних зони, в залежності від впливу елементів схеми заміщення на  $Re(Z_C)$ . В першій зоні зменшення (схоже на експоненціальне) активного опору обумовлено зміною впливу імпедансу Варбурга. Вже на частотах 1-5 кГц перша зона закінчується. При цьому імпедансом Варбурга вже можна знехтувати. Тоді еквівалентна схема імпедансу комірки спроститься, і буде представляти собою трьохелементну еквівалентну схему з елементами  $C_D$ ,  $R_{B,S}$ ,  $C_{B,S}$ . Друга зона характеризується майже незмінним (невеликим зменшенням) значенням активної складової імпедансу. При цьому можна вважати:  $Re(Z_C) \approx R_B$ , оскільки  $tg\phi_B < 1$ . З ростом частоти двоелементна схема заміщення імпедансу інтерфейсу набуває властивостей паралельної схеми заміщення. Частота  $\omega_{SP}$ , на якій такий перехід можливий, визначається по екстремуму частотної залежності тангенса фазового кута схеми заміщення. Її значення має пряму залежність від електролітичної провідності і визначається параметрами схеми заміщення. Для буферних розчинів, які використовуються в кондуктометричних біосенсорних системах, ця частота перевищує 300 кГц. В область звукових частот (до 100 кГц) частота  $\omega_{SP}$  потрапляє тільки для дистильованої води і дуже розбавлених розчинів ( $k < 50$  мкСм/см). Третя зона характеризується зменшенням активної складової імпедансу комірки. Це обумовлено тим, що вимірювання відбувається по послідовній схемі заміщення, а еквівалентна схема імпедансу комірки набуває властивості паралельної схеми заміщення. При цьому  $Re(Z_C)$  прямує до нуля при прагненні частоти в нескінченність.

Більш детально питання частотних властивостей запропонованої теоретичної моделі імпедансу комірки розкрито у доповіді.

О. М. Васілевський, д.т.н., доцент

## НЕПЕВНОСТІ КОНСТАНТ ЗАКЛАДЕНИХ В ПЕРЕГЛЯНУТІЙ МІЖНАРОДНІЙ СИСТЕМІ ОДИНИЦЬ (SI)

Ключові слова: непевність, стала Авогадро, стала Больцмана, стала Планка, елементарний заряд, система одиниць, значущі цифри

Із розвитком науки і техніки вимоги до точності вимірювань зростають. У зв'язку з цим Міжнародним Комітетом Мір та Ваг (CIPM) та Міжнародним Бюро Мір та Ваг (BIPM) заплановано проведення Генеральної Конференції Мір та Ваг (CGPM) у листопаді 2018 року для прийняття (введення в метрологічну практику) нових міжнародних визначень одиниць системи SI [1, 2].

У переглянутій Міжнародній системі одиниць (SI) чотири базові одиниці, а саме кілограм, ампер, кельвін і моль, будуть перевизначені з точки зору констант. Нові визначення будуть засновані на фіксованих чисельних значеннях постійної Планка ( $h$ ), елементарного заряду ( $e$ ), постійної Больцмана ( $k$ ) і постійної Авогадро ( $N_A$ ) [1, 2].

Після перевизначення SI буде являти собою систему одиниць, в якій [1 - 3]:

- незбурена частота надтонкого переходу основного стану атома цезію-133 дорівнює  $9\,192\,631\,770$  (Гц);
- швидкість світла у вакуумі  $c$  становить рівно  $299\,792\,458$  (м/с);
- стала Планка  $h$  дорівнює  $6,626\,070\,04X \cdot 10^{-34}$  (Дж·с);
- елементарний заряд  $e$  дорівнює  $1,602\,176\,620\,8X \cdot 10^{-19}$  (Кл);
- стала Больцмана  $k$  становить  $1,380\,648\,52X \cdot 10^{-23}$  (Дж/К);
- стала Авогадро  $N_A$  становить  $6,022\,140\,857X \cdot 10^{23}$  (моль<sup>-1</sup>);
- світлова ефективність монохроматичного випромінювання частоти  $540 \cdot 10^{12}$  (Гц) складає  $683$  (лм/Вт) [1-3].

Значення  $X$  являє залишкові цифри, що відкидаються.

Із довідникових даних Національного інституту стандартів і технологій США відомо, що стандартна непевність елементарного заряду складає  $0,000\,000\,0098 \cdot 10^{-19}$  Кл, непевність сталої Планка складає  $0,000\,000\,081 \cdot 10^{-34}$  Дж·с, непевність сталої Больцмана складає  $0,000\,000\,79 \cdot 10^{-23}$  Дж/К і непевність сталої Авогадро складає  $0,000\,000\,074 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup> [3, 4].

Для більш наочного представлення точності відтворення констант розрахуємо відносні непевності за формулою

$$\tilde{u} = \frac{u}{y} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $u$  – стандартна непевність,  $y$  – значення відтворюваної величини [5-8].

Підставляючи стандартні непевності констант і їхні значення у формулу (1) отримаємо відносні непевності відтворення:

- сталої Планка:  $1,22 \cdot 10^{-6}\%$ ;
- елементарного заряду:  $6,12 \cdot 10^{-7}\%$ ;
- сталої Больцмана:  $5,72 \cdot 10^{-5}\%$ ;
- сталої Авогадро:  $1,23 \cdot 10^{-6}\%$ .

Якщо округлювати зазначені константи до певного знаку після коми, то стандартну непевність, що обумовлена округленням констант, в припущенні про рівноймовірний закон розподілу можна оцінити за формулою

$$u = \frac{\Delta X}{\sqrt{12}}, \quad (2)$$

де  $\Delta X$  – значущі цифри, що відкидаються під час округлення [5 - 8].

При округленні зазначених вище констант, наприклад, до тисячних одиниць, і підставляючи значення відкинутих знаків у формулу (2) отримаємо такі оцінки:

$$\text{-стандартної непевності сталої Планка } u_{B,h} = \frac{0,00007004 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{12}} = 0,00002022 \cdot 10^{-34} \text{ (Дж·с);}$$



- стандартної непевності елементарного заряду  
 $u_{B,e} = 0,0001766208 \cdot 10^{-19} / \sqrt{12} = 0,000050986 \cdot 10^{-19}$  (Кл);

- стандартної непевності сталої Больцмана  
 $u_{B,k} = 0,00064852 \cdot 10^{-23} / \sqrt{12} = 0,00018721 \cdot 10^{-23}$  (Дж/К);

- стандартної непевності стала Авогадро  
 $u_{B,Na} = 0,000140857 \cdot 10^{23} / \sqrt{12} = 0,000040662 \cdot 10^{23}$  (моль<sup>-1</sup>).

Для представлення відносних непевностей констант, що обумовлені їх округленням до тисячних одиниць підставимо отримані стандартні непевності у формулу (1), в результаті чого отримаємо відносну непевність сталої Планка, що дорівнює 3,05·10<sup>-40</sup>%, відносну непевність елементарного заряду, що дорівнює 3,18·10<sup>-30</sup>%, відносну непевність сталої Больцмана, що дорівнює 1,36·10<sup>-20</sup>% та відносну непевність сталої Авогадро, що дорівнює 6,75·10<sup>-40</sup>%.

Таким чином, при округленні констант закладених в переглянутій системі одиниці SI до тисячних одиниць їх відносні непевності у порівнянні з відносними непевностями, що обумовлені відомими на даний час знаннями про фундаментальних фізичних констант до певної кількості знаків після коми збільшуються у: 250 разів для сталої Планка; 5196 разів для елементарного заряду; 237 разів для сталої Больцмана; 548 разів для сталої Авогадро.

Як видно з розрахунків при округленні зазначених констант до тисячних одиниць найбільше збільшується відношення відносних непевностей елементарного заряду. Для його зменшення до рівня інших відношень, значення елементарного заряду необхідно округлювати до сотисязчних одиниць (1,602 18X·10<sup>-19</sup> Кл). При цьому відносна непевність, що обумовлена округленням значення елементарного заряду складе 1,19·10<sup>-40</sup>%. Порівнюючи це значення відносної непевності із значенням відносної непевності, що обумовлена відомими на даний час знаннями про значення елементарного заряду до десятого знаку після коми видно, що відносна непевність, яка виникає при округленні до сотисязчних одиниць є у 195 разів більшою. Якщо округлювати інші значення констант до п'ятого знаку після коми, то відносна непевність відтворення сталої Планка складе 1,22·10<sup>-6</sup>% (6,626 07X·10<sup>-34</sup> Дж·с), сталої Авогадро - 4,11·10<sup>-6</sup>% (6,022 14X·10<sup>23</sup> моль<sup>-1</sup>), сталої Больцмана - 1,78·10<sup>-40</sup>% (1,380 65X·10<sup>-23</sup> Дж/К), тобто виконується співвідношення по точності 1:3 [9].

З проведеного аналізу відносних непевностей фундаментальних констант видно, що округлення значення елементарного заряду в порівнянні з іншими константами буде вносити найбільшу непевність у бюджет непевностей результатів досліджень, тому значення елементарного заряду рекомендується округлювати хоча б до шостого знаку після коми (1,602 177X·10<sup>-19</sup> Кл) для зменшення бюджету непевностей при високоточних розрахунках.

### Список використаних джерел

1. [www.bipm.org/en/measurement-units/rev-si/](http://www.bipm.org/en/measurement-units/rev-si/)
2. [www.amu.in.ua/](http://www.amu.in.ua/)
3. The NIST Reference on Constants, Units, and Uncertainty. US National Institute of Standards and Technology. - [www.nist.gov/](http://www.nist.gov/)
4. [www.physics.nist.gov/cuu/Constants/Table/allascii.txt](http://www.physics.nist.gov/cuu/Constants/Table/allascii.txt)
5. Васілевський О.М., Кучерук В.Ю., Володарський Є.Т. Основи теорії невизначеності вимірювань: [підручник]. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 230 с.
6. Vasilevskiy O. M. Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty // International Journal of Metrology and Quality Engineering, Volume 5, Issue 04, 403 (2014).
7. Vasilevskiy O.M., Kucheruk V.Y., Bogachuk V.V., Gromaszek K., Wójcik W., Smailova S., Askarova N. The method of translation additive and multiplicative error in the instrumental component of the measurement uncertainty // Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, 2016, 1003127 (September 28, 2016). - DOI:10.1117/12.2249195.
8. Vasilevskiy O.M. Methods of determining the recalibration interval measurement tools based on the concept of uncertainty // Technical Electrodynamics, 6, 81-88 (2014).
9. Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення: [навчальний посібник]. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 214 с.

**O. M. Vasilevskyi, DSc, V. V. Prisyazhnyuk, senior lecturer Chair**

## EVALUATION OF DYNAMIC MEASUREMENT UNCERTAINTY OF VIBRATION ACCELERATION

Keywords: uncertainty, dynamic measurements, spectral function, vibration, frequency characteristic, converter of vibration acceleration, time domain

In accordance with [1-5], in a linear approximation, the mechanical oscillating system can be represented by one or a combination of the links of the first and second order, i.e. oscillatory link. In this case, the vibrations that are registered at the point of positioning of the accelerometer on the node of the electrospindle represent its response to the impact of the vector generating process. The differential equation describing the dynamic relationship of the input and output values of the vibration acceleration measuring transducer has the form [4, 5]

$$d^2 X_s(t)/(dt^2) + 2h dX_s(t)/(dt) + h_k^2 X_s(t) = F_0/(m) \sin(\omega_0 t), \quad (1)$$

where  $F(t) = F_0 \sin(\omega_0 t)$  is the harmonic forced power of the oscillation of the surface of the object (input value);  $F_0$  is the force amplitude;  $\omega_0$  is the angular frequency of forced power;  $X_s(t)$  represents the the mechanical vibrations of the inertial mass;  $m$  is the mass of the accelerometer;  $c$  is the damping variable;  $k$  is the equivalent rigidity of the piezoelements,  $h = c/2m$  is the damping coefficient;  $h_k = \sqrt{k/m}$  is the critical value damping coefficient [4, 5].

The transfer function of the measuring device will take the form of

$$H(s) = K_{MM} / (s^2 + 2hs + h_k^2), \quad (2)$$

where  $K_{MM}$  is the coefficient of proportionality of the measuring channel of vibration acceleration.

Turning to the domains of frequency and separating the real and imaginary parts, we obtain an expression for the module of the frequency characteristics of the measuring device for vibration acceleration

$$|K_C(j\omega)| = \left| \frac{K_{MM}}{(j\omega)^2 + 2h(j\omega) + h_k^2} \right| = \left[ \frac{K_{MM}}{\omega^4 - 2\omega^2 h_k^2 + 4\omega^2 h^2 + h_k^4} \right]^{1/2}. \quad (3)$$

The input signal  $F_0 m^{-1} \sin(\omega_0 t)$  of vibration acceleration has the form of

$$X(j\omega) = j\omega_0 F_0 (\omega_0^2 + (j\omega)^2)^{-1} m^{-1}, \quad (4)$$

where  $\omega_0$  is the frequency input vibration acceleration, which ranges from 6 to 10 kHz that is, with a minimum value of 18,849.5 and the maximum value is 31,415.9 radians/second [4].

The module image of the input vibration acceleration is written as

$$|X(j\omega)| = \omega_0 F_0 (\omega_0^2 - \omega^2)^{-1} m^{-1}. \quad (5)$$

From source literature [6 – 10], it is known that the amplitude of forced harmonic power  $F_0$  is  $3 \cdot 10^{-4}$  m. The mass of the accelerometer is  $m = 4 \cdot 10^{-2}$  kg. The damping variable for the piezoelectric accelerometers is equal to 0.5, equivalent rigidity of the piezoelements is  $k = 2$ , and the minimum observation time  $T = 300$  s. The proportionality factor or gain  $K_{MM}$  of the measuring channel of the vibration acceleration is  $10^5$  [6, 7, 10].

Substituting the resulting values of the module of the frequency characteristics (3) and the image of the input signal (5) in equation

$$\sigma_Y = \pi^{-1/2} \left( T^{-1} \int_0^\infty |K_C(j\omega)|^2 |X(j\omega)|^2 d\omega \right)^{1/2}, \quad (6)$$

where  $|K_C(j\omega)|$  is the frequency response module of the measuring device, used for dynamic measurements [1, 4, 5], we obtain an expression for the evaluation of the uncertainty of dynamic measurement of vibration acceleration in the spectral area

$$\sigma_Y = \pi^{-1/2} \left( T^{-1} \int_0^{\infty} \frac{K_{MM} \omega_0^2 F_0^2 (\omega_0^2 - \omega^2)^{-2} m^{-2}}{\omega^4 - 2\omega^2 h_k^2 + 4\omega^2 h^2 + h_k^4} d\omega \right)^{1/2}. \quad (7)$$

To represent the characteristics of the changes in the uncertainty in the dynamic measurement vibration acceleration in the time domain, which is caused by the inertial properties of the measuring transducer in its dynamic mode we must express a Fourier expression for inverse transformation in the form of

$$u_D(t) = \pi^{-1/2} \int_0^{\infty} \sigma_Y e^{j\omega t} d\omega = \pi^{-1/2} \left[ \int_0^{\infty} \sigma_Y \cos(\omega t) d\omega + j \int_0^{\infty} \sigma_Y \sin(\omega t) d\omega \right]. \quad (8)$$

Since expression (8) consists of real and imaginary parts, and in assessing the uncertainty we are interested in the amplitude value of dynamic uncertainty, expression (8) may now be written as

$$|u_D(t)| = \left[ \pi^{-1} \int_0^{\pi f_s} (\sigma_Y \cos(\omega t))^2 d\omega + \pi^{-1} \int_0^{\pi f_s} (\sigma_Y \sin(\omega t))^2 d\omega \right]^{1/2}. \quad (9)$$

For the solution of equation (9) in the light of equation (7) we used the Maple 12 mathematical package. At the minimum frequency of the input signal of the vibration acceleration of 6 kHz, and with an observation time of 300 s, the value of dynamic uncertainty is 0.14 m/s<sup>2</sup> (Tab. 1). If the observation period increased to 600 s at a frequency of input signal of the vibration acceleration of 6 kHz, the value of dynamic uncertainty is reduced to 0.1 m/s<sup>2</sup> (Tab. 1). The evaluation value of the signal for vibration acceleration of the bearings of the electrospindle of the motor is 2.34 m/s<sup>2</sup> (Tab. 1).

**Table 1.** Uncertainty budget of the constituent elements of the measuring channel of vibration acceleration

Quantity	Mean value, m/s <sup>2</sup>	Frequency of the study, kHz	Observation time, s	Value of dynamic uncertainty, m/s <sup>2</sup>	The expanded dynamic uncertainty (coverage factor 1.96 at confidence level 95%), m/s <sup>2</sup>	Value of relative dynamic uncertainty, %
The vibration acceleration	2.34	6	300	0.14	0.27	5.98
		6	600	0.1	0.2	4.27
		10	300	0.11	0.22	4.7
		10	600	0.08	0.18	3.29

## References

1. S. Eichstädt, A. Link, C. Elster, Dynamic Uncertainty for Compensated Second-Order Systems, *Sensors*, 10, 7621 (2010).
2. T. J. Esward, C. Elster, J. P. Hessling, Analysis of dynamic measurements: new challenges require new solutions, in *Proc. of XIX IMEKO World Congress on Fundamental and Applied Metrology* (2009).
3. O. M. Vasilevskyi, A frequency method for dynamic uncertainty evaluation of measurement during modes of dynamic operation, *Int. J. Metrol. Qual. Eng.*, 6, 202, (2015).
4. O. M. Vasilevskyi, M. Yu. Yakovlev, P. I. Kulakov, Spectral method to evaluate the uncertainty of dynamic measurements, *Tekhn. Elektrodin.* 4, 72-78 (2017).
5. Васілевський О.М., Кучерук В.Ю., Володарський Є.Т. Основи теорії невизначеності вимірювань: [підручник]. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 230 с.
6. O. M. Vasilevskyi, P. I. Kulakov, I. A. Dudatiev, V. M. Didych and others, Vibration diagnostic system for evaluation of state interconnected electrical motors mechanical parameters, *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*, 2017.
7. O. M. Vasilevskyi, Metrological characteristics of the torque measurement of electric motors, *Int. J. Metrol. Qual. Eng.* 8, 7 (2017).
8. Vasilevskyi O.M., Kucheruk V.Y., Bogachuk V.V. and others. The method of translation additive and multiplicative error in the instrumental component of the measurement uncertainty, *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, 2016.
9. Vasilevskyi O.M. Methods of determining the recalibration interval measurement tools based on the concept of uncertainty, *Techn. Electrodyn.*, 6, 81-88 (2014).
10. Podzharenko V.O., Vasilevskyi O.M. Diagnostics of technical condition of electromechanical systems for the logarithmic decrement, *Proceedings of Donetsk National Technical University*, 88, 138-144 (2005).

**І. В. Троцишин, д.т.н., проф.**

## **НОВІТНІ ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ЦАП-АЦП НОВОГО ПОКОЛІННЯ**

Ключові слова: ЦАП і АЦП, підвищення швидкості і точності одночасно, принцип програмування характеристик перетворення, новий вид мікросхем програмованих ЦАП-АЦП.

**ПРОБЛЕМА:** ЦАП і АЦП перетворення ( в тому випадку і вимірювальні ) складають 80% (95% відповідно) всіх видів сучасного електронного обладнання яке використовується у світі. Випускається щорічно величезна 10 - 100 мільйонів мікросхем ЦАП і АЦП більш ніж 20 виробниками, але всі вони використовують відомі методи вимірювального перетворення, для якого **ПРИНЦИПОВИЙ** параметр добуток *«точність перетворення x швидкодія перетворення»* є **КОНСТАНТОЮ:** тобто, або досить точно (1/1000 - 1/1000000) але повільно (10 - 100нс 1мкс.), або ж досить швидко: 1нс і менше, але з із невисокою точністю (1/200 – 1/400). Єдиним шляхом який веде до покращення «добутку» є **ТЕХНОЛОГІЧНИЙ** рівень розвитку мікроелектроніки ( зменшення топологічних розмірів елементів мікроелектроніки (20 - 40нм), що потребує значного подорожчання виробів, в 10-100 разів, для покращення в 2-3 рази (максимум), але вже досягнута **ТЕХНОЛОГІНА МЕЖА** мікроелектроніки, а **НАНО-** електроніка поки що не має відповідних технологій.

Мета новітніх розробок: **одночасне підвищення роздільної здатності та швидкодії вимірювального перетворення.**

В той же час, як виявлено нашими дослідженнями і **ПРАКТИЧНИМИ** реалізаціями ЦАП і АЦП встановлено, що на відміну від **ТЕХНОЛОГІЧНОГО** ( інструментального обмеження ), людство чомусь не використовує можливості **«УСУНУТИ»** наявні **МЕТОДИЧНІ** обмеження, які введені «класичними принципами та відомими методами» побудови ЦАП і АЦП. А їх «інформаційна потужність» співвідноситься як енергія від спалювання 1кГ водню ( «класика» ), і хоча в той же час «термоядерна реакція» того ж 1кГ водню, дасть в 100 - 1000 раз більше енергії: - таке оригінальне порівняльне використання «класики» і **КВАНТОВИХ** вимірювальних перетворень.

Тим більше, завдяки наявній **НАДЛИШКОВОСТІ** квантових вимірювальних станів (замість примітивного кількості «класики»), з'являються **НОВІ**, які взагалі не можливі у «класичних» можливості, як наприклад побудова ЦАП-АЦП із програмованою характеристикою вимірювального перетворення ( не лише за кількістю, але і за залежністю, а також і напрямком), в уже виготовленій **МІКРОСХЕМІ!!!**. Тобто вперше можливе програмування основних **ХАРАКТЕРИСТИК** не під час виготовлення (12, 14, 16 ти розрядних), а в уже «корпусованому» і «впаяному у схеми» виробі ЦАП-АЦП!!!. Їх значення: «Класика» - (КТВП), можливо зрівнювати як значення Геоцентричної (Папа Римський), і Геліоцентричної систем (Джордано Бруно), і якщо у питанні «польоту на Місяць », працюють обидва підходи, то про Марс і інші польоти за межі Земної орбіти «потрібно забути», таке ж і співвідношення Квантової теорії вимірювального перетворення (КТВП) і «класичних методів вимірювань».

Правда, відповідною до викладеної ситуації, також є і реакція сприйняття «класичними науковцями»: «такого бути не може, тому що не може **БУТИ!**». Але є і єдине «досягнення», це те, що вирішення питання «святої інквізиції» не такі фатальні, але досить ефективно «гальмують» впровадження нових можливостей, які відкриває КТВП, яка на нижчих технологічних рівнях «перевищує» можливості найсучасніших мікро та нано технологій, а його використання у передових мікроелектронних технологіях, на 10 - 100 раз покращить проблемні параметри, і надасть «унікальні можливості **ПРОГРАМУВАННЯ** у встановленому елементі!!!».

Вказаний новий підхід є **ІДЕОЛОГІЧНИМ**, тобто разом із прогресом **ТЕХНОЛОГІЙ**, його використання у них, дасть таке ж якісне покращення процедур ЦАП – АЦП, а саме головне, він не потребує такої ж значної вартості затрат, і дозволить відкрити нові, навіть непередбачувані можливості Новітніх технологій КТВП, принципово покращить критичний параметр «швидкість x точність», у всіх системах із ЦАП і АЦП.

Наглядним прикладом ефективності КТВ є приведення рисунків харатеристик перетворення шляхом порівняння «класики» і АПТ для кількості всього 8 резисторів однакового номіналу!!!, які приведено на рис. 1, і рис. 2.

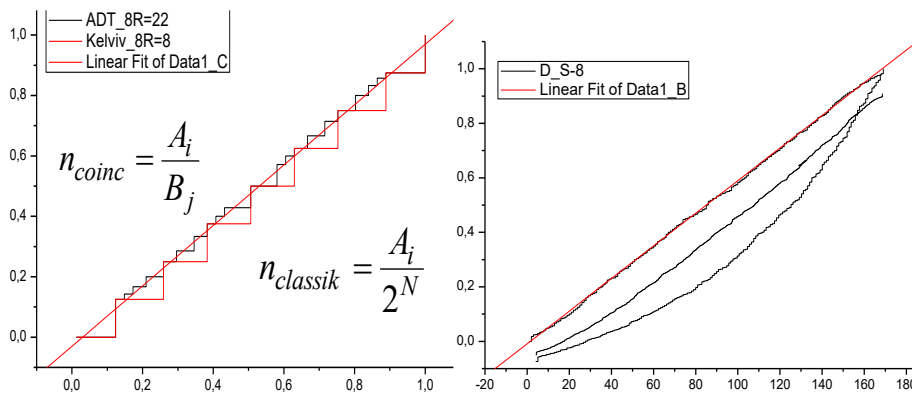


Рис.1. Характеристики перетворення ADT8

Рис.2. Характеристики перетворення D-S-8

Підхід: Теорія квантових вимірювальних перетворень та методи побудови АЦП та ЦАП амплітудних та фазочастотних параметрів радіосигналів із одночасним підвищенням роздільної здатності та швидкодії є проривом у саме «ідеологічному підході до теорії вимірювального перетворення», і дозволить отримати значне покращення основних параметрів точності і швидкодії, причому **ОДНОЧАСНО!!**. Крім того з'являються принципово нові можливості програмування у вже готовому виробі (мікросхемі), не лише напрямку перетворення (ЦАП, або АЦП), і вигляду на кількості точок характеристики вимірювального перетворення, у встановленому у виріб (аналого-цифрова ПАІС)

Створення Квантової теорії вимірювань фазочастотних параметрів радіосигналів (теорія ФЧВ і ПР), а також КТВП на прикладі ЦАП і АЦП, шляхом використання принципу коінцидентії, яка реалізує найпотужнішу із вимірювальних шкал: - шкалу відношень. Нові методи побудови вимірювальних ЦАП і АЦП для амплітудних та фазочастотних параметрів радіосигналів, які мають кращі (в рази) тактико-технічні характеристики, шляхом, створення методології програмованих мікросхем ЦАП-АЦП.

3. Результат (очікуваний). Встановлено, і практично доведено, що при використанні методу коінцидентії кількість квантованих значень шкали вимірювального перетворення ЦАП-АЦП значно більша ніж прийнято використовувати у класичних двійкових перетворювачах, і дозволяє одночасно збільшувати і точність і швидкодію вимірювання як фазочастотних так і амплітудних параметрів радіосигналів, в 10-100разів, в аналогів: - добуток цих параметрів є константа.

**Будуть отримані ЦАП - АЦП із програмованими параметрами перетворення і покращення принципового обмеження «точність x швидкодія».**

4. Терміни розробки: Проектування топології програмованих ЦАП-АЦП (2-3 місяці). 100тис. дол. Проектування та виготовлення зразків мікросхем ( 2-3 місяця ). 150-200тис. дол.

Порівняльні випробування (1 місяць ) (рис: 1-2). - Порівняння «класики» і АПТ для кількості всього 8 резисторів однакового номіналу!!!). 100тис.дол.

5. Ціна: Вартість виготовлення дослідної партії Інтегральних мікросхем (2000-5000 кристалів) кристалів на фірмах які виготовляють мікросхеми (AD, MELEXSIS, або Китайських) лежить в межах 250- 400 тис.доларів.

Права інтелектуальної власності: Принцип побудови ЦАП – АЦП нового покоління запатентований: (Троцишин І.В. Спосіб побудови атенюатора-подільника Троцишина. Патент України 100581. МПК (2013.01) G01R 15/00 G06G 7/16 (2006.01) G11C 8/00 H02M 3/06, (200), Опубліковано 10.01.2013, Бюл. № 1,), власник автор, можливе укладання ліцензійних угод.

#### Список літературних джерел

1. Спосіб побудови атенюатора-подільника Троцишина. Патент України 100581. МПК (2013.01) G01R 15/00 G06G 7/16 (2006.01) G11C 8/00 H02M 3/06, (200), Опубліковано 10.01.2013, Бюл. № 1,

**О. Є. Малецька, к.т.н; М. В. Москаленко, к.т.н.**

## **АНАЛІЗ ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ «МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ» ТА «НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ ПІД ЧАС КАЛІБРУВАННЯ»**

Ключові слова: вимірювання, засіб вимірювальної техніки, метрологічні характеристики, невизначеність вимірювань, похибки

Прийняття нового Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [1] є початком інтенсивного переходу метрологічної діяльності в нашій країні на міжнародні, європейські засади. Цей перехід ніяк не був підготовлений: міжнародний словник з метрології не набув ніякого статусу в Україні; ніяких роз'яснюючих матеріалів щодо змін, які мають відбутися, з боку центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері метрології та метрологічної діяльності, теж не було. Тому метрологам як науковцям, так і практикам приходиться до реалізації змін доходити самим. Однак, забезпечення єдності вимірювань залишається основним завданням метрологічну діяльність на будь-якому підприємстві. Це обґрунтовується тим, що єдність вимірювань є основою досягнення необхідної точності результатів вимірювань і їх достовірності. Серед всіх метрологічних робіт, що проводяться для цього на підприємстві, особливе місце належить метрологічному підтвердженню придатності засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ), метрологічні характеристики яких повинні відповідати встановленим вимогам. Тому вважається актуальним порівняти терміни та визначення щодо метрологічних характеристик, які застосовуються в міжнародних та національних документах.

Термін «метрологічні характеристики» визначено в національних нормативних документах, як:

- характеристики ЗВТ, які нормуються для визначення результату вимірювань та його похибок – ДСТУ 2681-94 [2];
- характеристики властивостей засобу вимірювань, що впливають на результати і похибки вимірювань, призначені для оцінки технічного рівня і якості засобу вимірювань, для визначення результатів вимірювань і розрахункової оцінки характеристик інструментальної складової похибки вимірювань ДСТУ ГОСТ 8.009:2008 [3].

Що стосується міжнародних документів, то в VIM [4] термін «метрологічні характеристики» не визначено. Однак, в ДСТУ ISO 10012:2005 [5] метрологічна характеристика визначена як «характерна особливість, яка може впливати на результати вимірювань».

До метрологічних характеристик згідно з ДСТУ ГОСТ 8.009 відносяться:

- характеристики, призначені для визначення результатів вимірювань (без введення поправки), такі як функція перетворення, значення міри, ціна поділки тощо;
- характеристика похибки ЗВТ (значення похибки, нормуються: границя допустимої похибки або границі, в яких знаходиться допустима похибка із зазначенням довірчої ймовірності);
- характеристики чутливості ЗВТ до впливних величин (функції впливу, зміни значення похибки від впливної величини);
- динамічні характеристики ЗВТ.

Згідно з ДСТУ 2681 розглядаються ще два терміни, які стосуються визначення результату вимірювань за показами ЗВТ:

- діапазон показів ЗВТ (інтервал значень вимірювальної величини, який обмежений початковим та кінцевим її значенням);
- діапазон вимірювань (інтервал значень вимірювальної величини, в межах якого нормується похибка ЗВТ).

У VIM наведено термін «інтервал показів» із визначенням «Множина значень величини, обмежене гранично можливими показами», та визначено, що може застосовуватися термін «діапазон показів». Тобто цей термін однаково визначено на міжнародному та національному рівнях. У VIM є термін «інтервал вимірювань, робочий інтервал», який визначено як «множина значень величин одного роду, які можуть бути виміряні даним вимірювальним пристроєм або вимірювальною системою з установленою інструментальною невизначеністю, при визначених умовах». Замість цього терміну може застосовуватися термін «діапазон вимірювань». Наведемо визначення терміну «інструментальна невизначеність»: складова невизначеності вимірювань, яка

виникає під час застосування вимірювального пристрою або вимірювальної системи». Та є примітка до визначення цього терміну - інструментальну невизначеність одержують під час калібрування вимірювального пристрою або вимірювальної системи. Порівнюючи визначення терміну «діапазон вимірювань» у двох цих документах можна зробити висновок, що термін один, однак у ДСТУ ГОСТ 8.009 він стосується похибки ЗВТ, а у VIM – вимірювальних можливостей ЗВТ, які необхідні для оцінювання його метрологічного підтвердження.

Щодо нормування похибки ЗВТ, то національний термін «границя допустимої похибки» повністю співпадає з терміном «максимально допустима похибка». Визначення терміну «максимально допустима похибка» наведено в VIM, як «граничне значення похибки вимірювання відносно відомого опорного значення величини, дозволене специфікацією або нормативним документом для даного вимірювання, вимірювального пристрою або вимірювальної системи». Також цей термін застосовується у Директиві 2014/32/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 26 лютого 2014 р. про гармонізацію законодавства держав-членів стосовно надання на ринку вимірювальних приладів. В цій же директиві передбачено, що максимально допустима похибка виражається як двостороннє значення відхилення від істинного значення вимірюваної величини. Так, як ця директива впроваджена в Україні як технічний регламент, та крім цього, цей термін застосовується в Технічному регламенті законодавчо регульованих ЗВТ, то слід переходити на термін «максимально допустима похибка».

У доповіді будуть проаналізовані й інші терміни щодо метрологічних характеристик ЗВТ, багато з яких співпадає за визначеннями в міжнародних та національних документах (наприклад, чутливість, стабільність ЗВТ, абсолютна, відносна, зведена похибка ЗВТ (дивись ДСТУ ГОСТ 8.401 [6] та ДСТУ OIML R 34 [7] тощо), деякі не співпадають або застосовуються за іншим змістом.

Багато спорів виникає щодо невизначеності вимірювань під час калібрування, особливо всіх інтересує відповідь на питання – це метрологічна характеристика ЗВТ чи ні? Ми вважаємо, що невизначеність вимірювань під час калібрування залежить більш від якості роботи калібрувальної лабораторії, від її калібрувальних та вимірювальних можливостей. Про це свідчить також СМС-таблиці згідно із СІРМ МРА, в яких зазначаються найкращі калібрувальні та вимірювальні можливості національних метрологічних інститутів у значенні невизначеності вимірювань під час калібрування. Також ця характеристика вписується у сферу акредитації калібрувальної лабораторії, в тому числі і на міжнародному рівні. Тому невизначеність під час калібрування розглядають як інструментальну складову при проведенні вимірювань.

Термін «засіб вимірювальної техніки» та його визначення у Законі [1] теж не відповідає сучасним вимогам, та не дає змоги чітко розібратися, які технічні засоби є ЗВТ. У VIM не застосовується термін «засіб вимірювання», який є в ДСТУ 2681 та в Законі [1]. Однак у VIM є терміни «вимірювальний прилад» та «вимірювальна система».

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що наукові метрологічні центри України разом із Академією метрології України та провідними фахівцями-метрологами повинні розробити методичний посібник для метрологів - вчених, аспірантів, практиків, студентів, який би давав змогу використовувати однакові терміни з їх однаковими визначеннями. Інакше не буде порозуміння під час забезпечення єдності вимірювань та проведення метрологічної діяльності.

Список літературних джерел:

1. Закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність” від 5.06.2014 р. № 1314-VII із змінами, внесеними у відповідності із Законом № 124-VIII від 15.01.2015р.
2. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення
3. ДСТУ ГОСТ 8.009:2008 ДСВ. Нормовані метрологічні характеристики засобів вимірювань (ГОСТ 8.009-84, IDT)
4. ISO/IEC Guide 99:2007 International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)
5. ДСТУ ISO 10012:2005 Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання (ISO 10012:2003, IDT).
6. ДСТУ ГОСТ 8.401:2008 ДСВ. Класи точності засобів вимірювання. Загальні вимоги. ДСТУ OIML R 34:2014 Метрологія. Класи точності засобів вимірювальної техніки (OIML R 34:1979, IDT)

Т. Г. Бойко, д.т.н., проф. О.-С. І. Корчинська, студент

## ОЦІНЮВАННЯ ПОСТАЧАЛЬНИКІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АУДИТУ ЇХ ПРОЦЕСІВ ЗГІДНО СТАНДАРТУ VDA 6.3

**Ключові слова:** якість продукції, управління якістю, аудит процесів, життєвий цикл продукції, оцінювання постачальників, ризику, аналіз ризиків, оцінювання ризиків.

**Вступ.** Зростаючі вимоги споживачів ставлять перед управлінням якістю підприємства нові і все складніші завдання. Особливо це виразно простежується в автомобільній промисловості. Очікувана покупцями «бездоганність» автомобілів вимагає розроблення високоєфективних і робастних процесів як самих складальних підприємств, так і їх постачальників. Процеси підприємства слід безперервно відслідковувати і поліпшувати щодо їх надійності та ефективності. Стале скорочення часу від розробки концепції нового продукту до початку його виробництва вимагає так званого «запаралелювання» процесів і самих підприємств і їх партнерів. Будь-які невідповідності повинні викликати негайні коригувальні дії.

В такій ситуації очевидним є фокусування уваги виробників на процесах життєвого циклу продукції, зокрема у постачальників. Тут важливим інструментом оцінювання є аудит процесів. Зокрема вимоги до аудит процесу є частиною стандарту Спілки автовиробників VDA [1], том 6 якого стосується управління якістю в автомобільній промисловості. В 2016 році підготовлено нову редакцію стандарту, яка найближчим часом набуде чинності для встановлення вимог, зокрема і на вітчизняних автомобілекомплектувальних підприємствах. Сказане визначає **актуальність** дослідження.

**Аналіз документації.** В стандарті виділено блоки (елементи) робіт, що істотно впливають на якість продукції. Цим елементам - відповідають важливі запитання, згруповані в каталог запитань до процесів, за якими і здійснюють їх оцінювання. Таких елементів є 7, а саме: P1 - «Аналіз потенціалу», P.2 «Менеджмент проекту»; P3 «Планування і реалізація розробки продукту і процесу», P4 «Реалізація розробки продукту і процесу», P5 «Менеджмент постачальників», P.6 «Виробництво», P.7 «Обслуговування і задоволеність споживача, сервіс».

Аудитор в ході аудиту процесу повинен виконати два завдання, які згідно [1] представлені у вигляді «піраміди аудиту»:

- 1) аудитору слід ідентифікувати ризики за темою доречних запитань каталогу [1] з допомогою відкритих запитань до працівника (працівників) на його (їх) робочому місці;
- 2) на власному робочому місці аудитор повинен вибрати з каталогу [1] формулювання запитань в закритій формі і самостійно на них відповісти базуючись на основі попередньо отриманих доказів аудиту.

Для ідентифікації і аналізу ризиків стандартом рекомендовано застосовувати так звану модель «черепахи». Першочерговим завданням моделі є описати які «входи» процесу перетворюються в «виходи» через відповіді на такі питання:

- як здійснюється процес? (Зміст роботи);
- які дії / ділянки / особи підтримують процес? (Персональні ресурси);
- з допомогою яких матеріальних засобів реалізований процес? (Матеріальні ресурси);
- наскільки результативним і ефективним є процес? (Рівень продуктивності).

Ідентифіковані на основі аналізу ризику необхідно зіставити з запитаннями каталогу і інтегрувати в існуючі в ньому запитання. Також додатково до запитань з [1] підприємствам рекомендовано створювати і розвивати накопичувач знань - задокументоване доповнення до стандартних запитань за специфічно важливим складовими і ризиками, властивими виробництву, продукту і процесам кожного окремого підприємства. Практичний досвід, відображений в накопичувачі знань, доповнює значимий для оцінки зміст, що враховує специфіку процесу.

Для кожного запитання в каталозі подані мінімальні вимоги, за якими і здійснюють його оцінювання, а також посилання на відповідні томи VDA, що розкривають складні технічні або організаційні процедури. Сукупність зібраних аудитором доказів за кожним з питань визначає оцінку як для кожного кроку процесу виробництва, так і для процесу виробництва в цілому. Кожний елемент процесу оцінюють з допомогою балів, як ступінь близькості процесу до якогось



ідеального стану, коли сумарний бал максимальний. Очевидно, що встановлення балів і результат аудиту повністю залежить від кваліфікації аудитора.

Кожне закрите запитання каталогу аудитор оцінює за бальною шкалою 0, 4, 6, 8 10 балів, де 10 означає повне виконання всіх вимог до продукту і процесу. Ступінь виконання розраховують на основі запитань кожного елемента процесу:

$$E_E = \sum E_i / \sum E_{i_{max}},$$

де  $E_i$  сума досягнутих балів;  $E_{i_{max}}$  сума всіх можливих балів.

На основі усередненої за елементами процесу оцінки призначають певний рейтинг, яких характеризує ступінь виконання вимог постачальником і визначає подальші дії щодо нього. Рейтинг має 3 градації: А – здатний забезпечити якість; В – здатний забезпечити якість за певних умов; С – не здатний забезпечити якість. Залежно від завдань аудиту стандарт рекомендує здійснювати усереднення за групами елементів P2-P4, P5-P7 або за всіма елементами P2-P7. Під час призначення рейтингу додатково враховують запитання, позначені у каталозі зірочкою, як такі, що стосуються особливого ризику для продукції та процесів.

**Основна частина.** На думку авторів трактування стандартом [1] терміну «ризик» та суміжних з ним понять є не зовсім коректним і може внести неоднозначність в трактуванні вимог стандарту [1]. Згідно [2], **ризиком** є вплив невизначеності на цілі. А **оцінюванням ризику** є спільний процес **ідентифікації, аналізу** і отримання його **оцінки**. **Ідентифікація ризику** - процес виявлення, розпізнавання і описування ризику; містить ідентифікацію джерел ризику, подій, їх причин і потенціальних наслідків, а також може містити історичні дані, теоретичний аналіз, інформаційні та експертні опції і потреби зацікавлених сторін. В свою чергу **аналіз ризику** полягає у розумінні природи ризику і визначенні **рівня ризику** – його розміру, вираженого як комбінація наслідків і їх ймовірності [3]. Для отримання **оцінки ризику** результати **аналізу ризику** слід порівняти з його **критеріями** – сукупністю факторів для зіставлення, за якими оцінюють значимість ризику. Критерії ризику можуть бути встановлені на основі цілей організації, її зовнішнього і внутрішнього спрямування діяльності, вимог нормативних документів, політики, законодавства тощо.

Тому можна відстежити часткову неузгодженість вимог [1] і [2, 3], коли в підрозділі 2.3 [1] поняття ідентифікація і аналіз ризику ототожнюються і запропоновано оцінювати ризики без встановлення їх критеріїв, а в розділі 7 [1] запропоновано використовувати аналіз ризиків безпосередньо для формування оцінок аудиторів. Очевидно в даному контексті під терміном «ризик» автори стандарту розуміють поняття «невідповідність» чи «недотримання вимог», які за певних обставин можуть спричинити технічні, економічні, соціальні чи екологічні несприятливі наслідки – втрати. Тобто і виникнення ризиків і недотримання вимог ведуть до однакових наслідків, але це не є вагомою причиною ототожнювати ці поняття.

Очевидно, що поняття «аналіз ризику» як складову процесу отримання оцінки результатів аудиту доцільно застосовувати лише в тому випадку, коли можна оцінити його розмір (рівень). Зокрема для цього добре надається представлена в [1] модель «черепихи», в якій для кожного елементарного процесу можна виявити рівні ризиків за складовими: зміст роботи, персональні ресурси, матеріальні ресурси, рівень продуктивності. Якщо для всіх вказаних складових моделі визначити критерії ризику, то за кожною з них можна отримати оцінку, яка може бути використана аудитором, наприклад, для отримання значення вагомості, кожного елементарного процесу для кожного з досліджуваних елементів P1-P7 в цілому.

**Висновок.** Результат оцінювання залежить не тільки від стану процесів постачальника, але й від кваліфікації аудитора. Аудитор, виходячи зі знань специфіки процесу і виробу, повинен розпізнавати найсуттєвіші невідповідності, а, отже, повинен володіти практичним досвідом роботи в виробничому процесі і ґрунтовними знаннями в сфері управління якістю. Стандарт VDA 6.3 містить посилання на численні томи VDA і інструменти якості, тому для повноцінної оцінки аудитор повинен бути здатним оцінити результативність застосування методів управління якістю постачальником. Аналіз ризиків, які супроводжують виробничі процеси, і отримання їх оцінок, може бути суттєвим доповненням до оцінювання процесів аудитором, зокрема у постачальників.

**Список літературних джерел.** 1. VDA 6.3:2010 Quality Management in the Automotive Industry. Part 3 - Process Audit. - Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA). - 2nd completely revised edition, June 2010. 2. ISO Guide 73:2009 Risk management - Vocabulary - Guidelines for use in standards. 3. ISO 31000:2009 Risk management - Principles and guidelines.

**В.С. Єременко, д.т.н., доц.; В.М. Мокійчук, к.т.н., доц.; О.О. Редько, пров. інж.**

## **МЕТОД КОРИГУВАННЯ МІЖКАЛІБРУВАЛЬНИХ ІНТЕРВАЛІВ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ**

Ключові слова: міжкалібрувальний інтервал, засіб вимірювань, акредитовані лабораторії, проміжні перевіряння, метрологічне забезпечення, ISO 17025.

Відповідно до політики ІЛАС з простежуваності результатів вимірювань Р10 п.1.4 f, однією з характеристик простежуваності є частота калібрувань. Калібрування повинні проводитись через визначені проміжки часу, тривалість яких залежить від ряду факторів (наприклад, невизначеності, частоти та способів використання обладнання, його стабільність). Акредитовані випробувальні та калібрувальні лабораторії згідно з вимогами ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [1] мають можливість самі встановлювати міжкалібрувальні інтервали (МКІ) засобів вимірювальної техніки (ЗВТ).

До введення в дію ДСТУ ІЛАС-G24/OIML D10:2013 (01.07.2014р.) [2] єдиним документом, який встановлював МКІ, був ДСТУ-Н РМГ 74:2009 [3], використання якого можливе лише за умов наявної інформації, зокрема про:

- нестабільність елементів ЗВТ, що визначають стан метрологічної придатності ЗВТ;
- показники надійності ЗВТ, нормовані або підтверджені випробуваннями;
- МКІ аналогів ЗВТ, підтверджені досвідом їх експлуатації;
- індивідуальну метрологічну надійність ЗВТ;
- ймовірність та середній час напрацювання до відмови ЗВТ або до першої відмови ЗВТ;
- результати вимірювання в протоколах проведення повірки для подальшого оцінювання систематичної та випадкової складової похибки результатів вимірювання, у разі наявності в лабораторії груп однотипних ЗВТ.

Запропонований в [4] метод розрахунку МКІ, що заснований на рекомендаціях розділу А.5 [3], не можна назвати універсальним, оскільки у користувача ЗВТ, як правило, відсутня інформація про: середню частку метрологічних відмов, ймовірність безвідмовної роботи за час напрацювання та середньоквадратичного відхилення (СКВ) розподілу похибок градування ЗВТ під час випуску з виробництва.

Згідно з [2] кожна конкретна лабораторія повинна прийняти рішення щодо вибору та застосування будь-якого методу, описаного в цьому стандарті, враховуючи її конкретні потреби та оцінки ризиків, або не використовувати жодного.

У роботі [5] пропонується використовувати підхід оцінювання значень відхилення від номінального у кожній точці калібрування. Вихідні дані отримують зі свідоцтв про калібрування ЗВТ. Критерієм корегування МКІ слугує співставлення значення суми отриманого зміщення за останнього калібрування та СКВ повторних калібрувань, з максимально допустимою похибкою ЗВТ. Цей підхід також не можна назвати універсальним, оскільки в період МКІ існують ризики невідповідної роботи ЗВТ, що призводить до використання недостовірних результатів вимірювань, і, в результаті, необхідності відзивання наданих замовникам результатів випробувань (калібрувань) за весь час від останнього метрологічного підтвердження, що впливає на імідж лабораторії. В статті не обґрунтовано обрана періодичність збільшення/зменшення МКІ – 3 місяці, і не враховано, що похибка оцінки СКВ для трьох результатів калібрування складатиме близько 40%.

Авторами пропонується використовувати комбінований метод, який об'єднує в собі метод контрольної діаграми (за календарем) та метод тестування «чорний ящик». З методу автоматичного регулювання було запозичено підхід до контролювання відхилення обраної метрологічної характеристики в границях 80% від допустимого значення [3].

Вихідними даними слугують дані калібрувань та проміжних перевірянь для одного рівня вимірюваної величини (точки калібрування), а саме дійсне значення або відхилення показів ЗВТ від дійсного значення. Стабільність в часі цих характеристик визначається аналізуванням їх дрейфу та прогнозуванням ймовірного часу виходу значень за допустимі границі із застосуванням регресійного аналізу. Коефіцієнти побудованої лінійної регресійної моделі визначались за методом найменших квадратів. Залежною змінною регресійної моделі ( $y$ ) можуть бути оцінки систематичної похибки (правильності, ассигасу) або випадкової похибки (повторюваності, random error), а незалежною ( $x$ ) – час.

Для проведення проміжних перевірянь, з періодичністю встановленою лабораторією, використовують внутрішні еталони або стандартні зразки (СЗ). У випадку неможливості придбання чи застосування високостабільних СЗ чи еталонів, до розгляду беруться дані лише зовнішніх калібрувань.

За прогнозоване значення МКІ пропонується брати значення  $x$  в точці перетину граничного значення ЗВТ  $y_{гр}$  з довірчим інтервалом побудованої регресійної моделі  $y_{дов}$  (рис. 1, МКІ\_1). МКІ визначається розв'язком рівняння (1) відносно  $x$ .

$$y_{гр} = y_{дов}, \text{ звідки: } y_{ет} \pm 0,8 \cdot \Delta_{ЗВТ} = k \cdot x + b \pm s_y \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \cdot t_{\alpha} \quad (1)$$

Альтернативний метод розрахунку прогнозованого значення МКІ ґрунтується на знаходженні значення  $x$ , яке відповідає перетину лінії регресії  $y(x) = k \cdot x + b$  з  $y_{гр}$  з урахуванням оцінки довірчого інтервалу для  $x$ , (див. рис. 1 МКІ\_2). Значення меншої границі знайденого інтервалу по вісі часу буде шуканим МКІ.

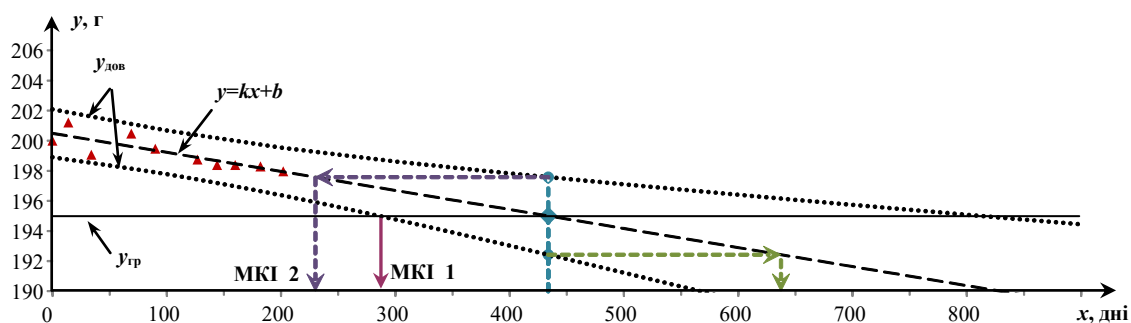


Рис. 1. Ілюстрація встановлення МКІ ЗВТ

На рис.1 наведені результати проміжних перевірянь ваг позначені трикутниками, номінальне значення гіри становить 200г,  $y_{гр}$  становить 195г та 205г. Прогнозований МКІ за першим методом розрахунку становить 290 днів, за другим 230 днів.

Потрібно відмітити, що дрейф не завжди наявний, з огляду на обмежений час аналізу, тому, якщо коефіцієнт нахилу ( $k$ ) регресійної моделі визнано незначущим, то пропонується збільшувати МКІ на подвоєний проміжок часу, протягом якого проводились проміжні перевіряння.

Запропонований комбінований метод, був впроваджений в діяльність акредитованого випробувального центру ПАТ «Миронівський хлібопродукт» у 2015 році та акредитованої лабораторії «АВІАТЕСТ» Національного авіаційного університету у 2017 році.

#### Список літературних джерел

1. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT): ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. – [Чинний з 2007-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 26 с. – (Національний стандарт України).
2. Метрологія. Наставови щодо визначення міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювальної техніки (ILAC-G24/OIML D10:2007, IDT): ДСТУ ILAC-G24/OIML D10:2013. – [Чинний з 2014-07-01]. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – 6 с. – (Національний стандарт України).
3. Метрологія. Методи визначення міжповіркового та міжкалібрувального інтервалів засобів вимірювання (PMG 74-2004, IDT): ДСТУ-Н PMG 74:2009. – [Чинний з 2010-04-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 27 с. – (Настава).
4. Волков О.Ф. Розрахунок міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювальної техніки / О.Ф. Волков, Р.О. Волков, К.С. Колобов, О.С. Лесик, С.О. Ричок // Автомобільний транспорт. – 2015. – №5 (247). – С.11-13.
5. Косарева О. Коригування міжкалібрувальних інтервалів вимірювального обладнання / О. Косарева, О.Дзябенко // Метрологія та прилади. – 2017. – №3. – С.33-35.

**В.М. Мокійчук, к.т.н., доц.; О.О. Редько, пров. інж.; О.В. Самойліченко, к.т.н., доц.;**  
**І.О.Шкільнюк, керівник лаб.**

## **СУЧАСНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ У ХІММОТОЛОГІЧНИХ ЛАБОРАТОРІЯХ**

Ключові слова: метрологічна простежуваність, єдність вимірювань, стандарні зразки, випробувальна лабораторія, ISO 17025, хіммотологія.

Випробувальні лабораторії (ВЛ) хіммотологічного профілю виконують роботи з оцінювання властивостей та складу паливо-мастильних матеріалів (ПММ), які виробляються, транспортуються та використовуються на різних типах техніки у всьому світі. На вимогу технічних регламентів та директив країн світу, з метою визнання результатів випробувань, лабораторії повинні забезпечувати простежуваність результатів вимірювань до національних еталонів.

У Законі України «Про метрологію та метрологічну діяльність» (далі – Закон) зазначено, що єдність вимірювань – це стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в одиницях системи SI (або комбінаціями одиниць SI або дозволеними позасистемними одиницями), а характеристики похибок або невизначеності вимірювань відомі з певною ймовірністю і не виходять за встановлені границі. Згідно Закону, передбачається акредитація ВЛ на відповідність вимогам ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 (далі – Стандарт).

У Стандарті на рівні з єдністю використовується термін простежуваність – властивість результату вимірювань, яка полягає в тому, що цей результат може бути пов'язаний з еталоном через задокументований нерозривний ланцюг калібрувань, кожне з яких робить свій внесок у невизначеність вимірювання. У п.5.6.1.2 Стандарту зазначається, що однією зі складових забезпечення простежуваності вимірювань є використання стандартних зразків, наданих компетентним постачальником, щоб дати надійне визначення фізичних або хімічних характеристик матеріалу [1].

У п.6.5.12 нової версії стандарту ISO/IEC DIS 17025 зазначається, що лабораторія повинна вибрати і використовувати референс-матеріали (стандартні зразки – СЗ), які підходять для конкретної мети в процесі вимірювання та які відповідають технічним вимогам, зазначеним в ISO 17034. У п.6.6.1.2 описаний випадок, коли вимірювання не можуть бути виконані в одиницях системи SI, тоді лабораторія повинна забезпечувати достовірність вимірювань установленням простежуваності вимірювання до відповідних еталонів: наданих компетентним постачальником СЗ, результатів референтних методик вимірювання та зазначених методів та/або консенсусних стандартів, які чітко описані і прийняті всіма зацікавленими сторонами.

Для забезпечення простежуваності результатів випробувань паливно-мастильних матеріалів, газових сумішей тощо, створення еталонів ускладнене. Отже, засобами забезпечення єдності випробувань в лабораторії, контролю правильності отримуваних результатів, калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), встановлення компетентності персоналу та лабораторії в цілому виступають атестовані СЗ (CRM – certified reference material). Особливе значення у ВЛ хіммотологічного профілю має місце наявності СЗ октанового числа, тиску насичених парів, вмісту сірки, компонентного складу, вмісту води, фракційного складу тощо. Потенційними перешкодами для створення та застосування СЗ можуть бути їх неоднорідність, з огляду на багатоконпонентний склад, та нестабільність, з огляду на летючість деяких компонентів або на наявність біологічних складових, що також впливає на процес характеристики СЗ. Характеризація (значення атестованої характеристики) тісно пов'язана майже з усіма областями застосування СЗ, а саме [2]:

- повірка, калібрування, градування ЗВТ, контроль метрологічних характеристик (MX) при проведенні досліджень ЗВТ, в .т.ч. з метою встановлення або підтвердження типу;
- простежуваність до умовних шкал;
- метрологічна атестація методик виконання вимірювань та випробувань;
- забезпечення єдності вимірювань та випробувань (перевірка точності результатів вимірювань у ВЛ, оцінювання компетентності персоналу та лабораторії в цілому);
- контроль похибок методик виконання вимірювань та випробувань;
- внутрішньолабораторний контроль якості вимірювань та випробувань.

Оцінювання МХ однорідності та стабільності є невід'ємною частиною процесу атестації СЗ. Окрім свого внеску, як складові розширеної невизначеності, вони дозволяють перевірити необхідні умови подальшого використання СЗ. Оцінювання відповідних характеристик ґрунтується на статистичному опрацюванні даних, і, за обмежених обсягів, завжди виникає ймовірність зробити помилку другого роду, при застосуванні відповідного статистичного критерію [3].

При виборі СЗ слід звернути особливу увагу на наявність атестації, приписане значення з невизначеністю і призначення: перевірка калібрування засобів вимірювань, калібрування еталонів аналітів у визначеній матриці, контролювання референтної методики (комутативність СЗ). Комутативність СЗ – це властивість, яка полягає у близькості між співвідношенням результатів вимірювання величини, що характеризує цей зразок, отриманих за двома заданими методиками вимірювання, та співвідношеннями результатів вимірювання, отриманих для інших заданих зразків. Комутативність особливо важлива тоді, коли методи дуже чутливі до матриці проби або агрегатного стану аналіту [4].

Градування ЗВТ за допомогою СЗ виконують з метою встановлення залежності між вихідним сигналом ЗВТ та відтвореною атестованою характеристикою СЗ. Такі СЗ називають калібратор (calibrator) – еталон, який застосовують під час калібрування. Хіміки-аналітики часто вживають терміни «калібратор» або «стандарт». Для градування бажано використовувати комплекти СЗ для не менше 5 значень характеристики складу або властивості, при цьому кількість вимірювань вихідного сигналу для одного значення СЗ повинна бути не менше 5. Тому ВЛ необхідно звернути увагу на достатню кількість, вартість і термін зберігання комплекту СЗ. При побудові градуовальної характеристики (ГХ) встановленої нелінійної залежності використовують методи лінеаризуючих перетворень [5]. В подальшому при випробуваннях, за отриманою ГХ ЗВТ знаходять шукану вхідну величину досліджуваного зразка. В роботі [6] досліджено алгоритм та методи оцінювання невизначеності результату вимірювання отриманого за ГХ.

МХ СЗ складу речовин і матеріалів можуть визначатися (атестовуватись) за результатами міжлабораторних порівнянь (МЛП, ІЛС – interlaboratory comparison), для чого залучають не менше 10 лабораторій, які мають досвід дослідження речовин, по складу і структурі аналогічних матеріалу СЗ [7]. Але трапляються випадки, коли невизначеність атестованого значення часто менша, ніж найменша невизначеність простежуваних результатів вимірювань наданих ВЛ.

Приймаючи замовлення на вимірювання (випробування), аналітик лабораторії-виконавця повинен знати всі аспекти вирішення завдання хімічного вимірювання, в тому числі визначення вимірюваної величини, вибір ієрархії калібрувань і прийняття заданої цільової невизначеності вимірювань [8]. Обґрунтоване використання типу та вибір достатнього комплекту СЗ є важливим завданням забезпечення єдності та простежуваності вимірювань в діяльності акредитованої ВЛ.

#### Список літературних джерел

1. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2005, IDT): ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [чинний з 2007-07-01]. – К.: ДССУ. – 25 с. – (Нац. ст. України).
2. ГСОЕИ. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения: ГОСТ 8.315-97. – [Действ. от 1997-07-01]. – М.: ИПК Изд. станд., 2004. – 20 с. – (Межгос. стандарт).
3. Єременко В.С. Достовірність оцінювання складових невизначеності стандартних зразків, обумовлених неоднорідністю та нестабільністю / В.С. Єременко, В.М. Мокійчук, О.В. Самойліченко // Системи обробки інформації. – 2011. – №1 (91). – С.87-90.
4. Термінологія аналітичного вимірювання. Вступ до VIM 3: за ред. В.Барвік та Е.Прічард: переклад першого видання настанови Eurachem 2011р. – К.: ТОВ «Юрка Любченка», 2015. – 82 с.
5. Метрологія. Характеристики градуовальні засобів вимірювання складу та властивостей речовин і матеріалів. Методика виконання вимірювання з використанням стандартних зразків (РМГ 54–2002, IDT): ДСТУ–Н РМГ 54:2014. – [чинний з 2015-02-01]. – К.: ДССУ. – 16 с. – (Настанова).
6. Мокійчук В.М. Вимірювання з попереднім градуванням ЗВТ. Оцінювання невизначеності результату / В.М. Мокійчук, О.О. Редько // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2017): мат. X міжнар. наук.-практ. конф. (16–17 травня 2017р., м. Київ) – К: НАУ – 2017. – С. 123–124.
7. Метрологія. Стандартні зразки складу речовин та матеріалів. Міжлабораторна метрологічна атестація. Зміст і порядок проведення робіт (ГОСТ 8.532-2002, IDT): ДСТУ ГОСТ 8.532-2003. – [Чинний від 13-05-03]. – К.: Держстандарт, 2003. – 15 с. – (Національний стандарт України)
8. Метрологическая прослеживаемость результатов измерений в химии: понятия и реализация. Технический отчет: Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC): перевод на русский язык. – К.: ГП "Укрметртестстандарт", 2014. – 91 с.

Ю. Г. Ведміцький, к.т.н., доц.

## ТЕКТОЛОГІЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ І ЯВИЩЕ ГІПЕРВАЛЕНТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В СТРУКТУРНИХ РІВНЯННЯХ УЗАГАЛЬНЕНОГО КОЛА

**Ключові слова:** фізичне явище гіпервалентної взаємодії, багатовимірні узагальнені сили, узагальнене електричне коло, динамічна система, топологічна структура, типова елементарна ланка, рівняння Лагранжа-Максвелла, структурні рівняння кола, перша та друга системи узагальнених координат

Однією з фундаментальних задач теоретичної електротехніки є побудова *узагальненого за числом ступенів вільності електричного кола* із зосередженими параметрами.

Успішне розв'язання зазначеної задачі розкриває в теоретичній (Кірхгофовій) електротехніці нові якості і закладає основу для формування і розвитку в ній окремого напрямку – *узагальненої структурної електротехніки*, істотною ознакою якої є здатність на дедуктивній основі *формалізувати* процес математичної і фізичної ідентифікації континуальних у часі однорідних або змішаних за своєю природою фізичних і технічних динамічних систем як суто електричного (електромагнітного), так і суміщеного фізичного походження.

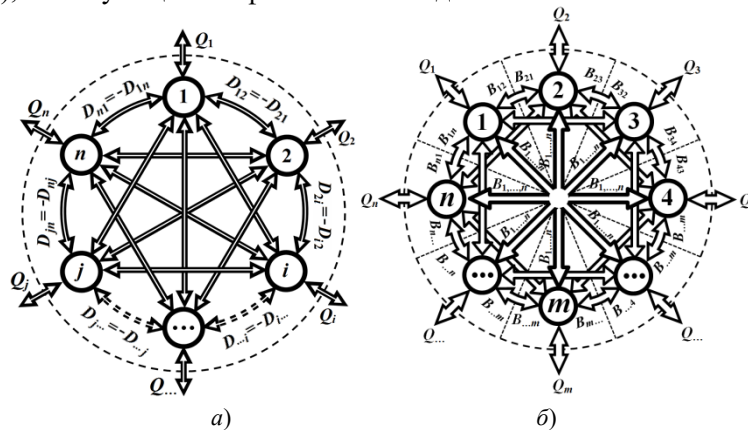


Рис. 1. Тектологічні структурні схеми узагальненого електричного кола (динамічної системи) без урахування (а) та з урахуванням (б) явища гіпервалентної взаємодії

На рівні постановки задачі концепція і сутність узагальненого електричного кола зазначені в роботах Дж. Кл. Максвелла [1] та Г. Крона [2]. Однак попри неодноразові намагання як в минулому, так і наразі заявлену задачу *не розв'язано* і дотепер.

Донедавна найбільш успішна спроба розв'язання цієї задачі була представлена в роботі [3], де автор аналітично отримав *структурні рівняння* узагальненого електричного кола, що дозволило сформулювати тектологічну структурну (рис. 1, а) та електричні схеми з надзвичайно високим рівнем узагальненості і дедуктивним охопленням широких класів електричних кіл [4].

Втім представлений в [3] розв'язок задачі зрештою виявився лише частковим, і, як наслідок, запропонованим базисним елементам теорії притаманна *недостатня дедуктивна дієздатність*.

Водночас в роботі [5] доведено, що вищевказаний недолік є *критичним*: такі елементи жодним чином не враховують істотного загально-природничого явища – *явища гіпервалентної взаємодії*.

Сутність виявленого явища докладно розкрито і описана в роботі [5]. В цій же роботі на підставі математичного дослідження структури рівнянь Лагранжа-Максвелла встановлено *узагальнену тектологію динамічних систем однорідної і суміщеної фізичної природи з урахуванням фізичного явища гіпервалентної взаємодії* (рис. 1, б), де на основі отриманих автором *структурних рівнянь* в першій і другій системах узагальнених координат побудовано структурну і електричні схеми узагальненого електричного кола з *найвищим* на сьогодні ступенем узагальненості.

Отже, *явище гіпервалентної взаємодії* – це природниче явище, яке спостерігається в фізичних та технічних динамічних системах різної природи і вияв якого відображає здатність *типових елементарних ланок* системи взаємодіяти (або встановлювати взаємозв'язки поміж собою) *багатовимірними* внутрішніми узагальненими силами взаємодії, *незалежними* поміж собою, але *залежними* від узагальнених координат або (та) швидкостей зазначених ланок системи в *різних*

комбінаторних сполученнях з  $n$  по числу  $k$  за умов, що число  $k$  належить області  $2 \leq k \leq n$ , а  $n$  – число ступенів вільності системи.

Це означає, що для узагальненого електричного кола, наприклад, побудованого в першій системі координат з урахуванням явища гіпервалентної взаємодії, загальна кількість рівнодійних внутрішніх сил взаємодії (напруг), які можуть діяти водночас між всіма типовими елементарними ланками системи (незалежними замкненими контурами через спільні вітки) буде дорівнювати

$$N(n) = \sum_{k=2}^n C_n^k = \sum_{k=2}^n \frac{n!}{k!(n-k)!} = 2^n - n - 1, \quad (1)$$

в той час, як для узагальненого електричного кола, представленого в роботі [3] (див. рис. 1, а), де враховані тільки двовимірні (або попарні) внутрішні сили взаємодії  $k = 2$ , така кількість є суттєво меншою і дорівнює лише одній із груп складових формули (1), а саме  $C_n^2 = \frac{n!}{2!(n-2)!}$ .

Типова елементарна ланка динамічної системи із зосередженими параметрами – це найменша і структурно неподільна її частина, енергетичний стан якої за умови відсутності силової взаємодії (обміну енергією) з іншими такими ж ланками залежить тільки від однієї (власної) узагальненої координати і узагальненої швидкості (узагальненого імпульсу), а у разі взаємодії – ще і від узагальнених координат та швидкостей відповідних суміжних взаємодіючих ланок.

Відтак, як впливає з рівнянь Лагранжа-Максвелла, структурними рівняннями узагальненого кола в першій системі координат з урахуванням виявленого явища гіпервалентної взаємодії є

$$\left( L_m \frac{di_m}{dt} + R_m i_m + \frac{q_m}{C_m} \right) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \left[ L_{m,s_1} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1}) + R_{m,s_1} (i_m \pm i_{s_1}) + \frac{q_m \pm q_{s_1}}{C_{m,s_1}} \right] + \dots + R_{m,s_1,s_2,\dots} \left( i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_{n-1}} \right) + \frac{q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm \dots \pm q_{s_{n-1}}}{C_{m,s_1,s_2,\dots}} = e_m, \quad m = 1, 2, \dots, n,$$

а в другій системі –

$$\left( C_m \frac{du_m}{dt} + G_m u_m + \frac{\psi_m}{L_m} \right) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \left[ C_{m,s_1} \frac{d}{dt} (u_m \pm u_{s_1}) + G_{m,s_1} (u_m \pm u_{s_1}) + \frac{\psi_m \pm \psi_{s_1}}{L_{m,s_1}} \right] + \dots + G_{m,s_1,s_2,\dots} \left( u_m \pm u_{s_1} \pm u_{s_2} \pm \dots \pm u_{s_{n-1}} \right) + \frac{\psi_m \pm \psi_{s_1} \pm \psi_{s_2} \pm \dots \pm \psi_{s_{n-1}}}{L_{m,s_1,s_2,\dots}} = J_m, \quad m = 1, 2, \dots, n.$$

### Список літературних джерел

1. Максвелл Дж. К. Трактат об електричестві и магнетизме : в 2 т. / Дж. К. Максвелл. – М. : Наука, 1989. – Т. 1. – 417 с.; Т. 2. – 437 с.
2. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика) / Г. Крон. – М. : Глав. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1972. – 544 с.
3. Ведміцький Ю. Г. Узагальнені електричні схеми-аналогі неперервних динамічних систем довільного порядку / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. – 2010. – Вип. 2. – С. 63-69.
4. Ведміцький Ю. Г. Контроль моменту інерції на основі удосконаленої теорії електродинамічних аналогій : монографія / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 196 с.
5. Ведміцький Ю. Г. Узагальнене електричне коло з урахуванням фізичного явища гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький. – №2(58). – 2017. – С. 29-36.

**В.П. Мотало, д.т.н., проф.; Б.І. Стадник, д.т.н., проф.;**  
**А.В. Мотало, к.т.н., нач. відділу**

## **КВАЛІМЕТРИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ: МЕТОДОЛОГІЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МЕТРОЛОГІЇ ТА КВАЛІМЕТРІЇ**

**Ключові слова:** метрологія, кваліметрія, вимірювання, кваліметричні вимірювання, рівень якості продукції, віртуальна міра якості продукції, багатовимірне шкалювання

*Кваліметрія* – наукова галузь, предметом дослідження якої є оцінювання якості об'єктів будь-якої природи – конкретних і абстрактних, продуктів природи і продуктів праці, матеріальних та ідеальних, живих і неживих, товарів і послуг, предметів і процесів тощо [1]. Слід зазначити, що з самого початку розвитку кваліметрії на неї, як наукову галузь, серед спеціалістів виникли два різних погляди, які виражаються двома цілком протилежними трактуваннями суті *кваліметрії*:

- ◆ кваліметрія є цілком самостійною наукою, яка має власну методологію досліджень [1];
- ◆ кваліметрія є частиною загальної метрології, предметом вивчення якої є кількісне оцінювання якості продукції, і нічим не суперечить суті метрології [2].

Таке протиріччя, яке в певній мірі існує і сьогодні, є некоректним і шкідливим насамперед для розвитку кваліметрії, оскільки через специфічність об'єкта дослідження - *продукції* – призводить до виникнення низки теоретичних і методологічних проблем та проблем нормативного забезпечення оцінювання якості продукції.

Розв'язання цих проблем можливе тільки у комплексному поєднанні методології *кваліметрії* та *метрології*, яка володіє потужним науковим, практичним та законодавчим інструментарієм для досліджень у будь-якій сфері пізнання. Аналіз шляхів розв'язання вказаних проблем і є предметом дослідження даної роботи.

Насамперед розглянемо співвідношення між поняттями “кваліметрія” та “метрологія” і, відповідно, між поняттями “оцінювання” та “вимірювання”. Термін “кваліметрія”, як відомо, утворений з двох слів- латинського “*qualis*” - який за якістю і давньогрецького “*metreo*” - вимірювати і дослівно означає “вимірювання якості”. Однак на практиці дослівне значення кваліметрії не використовується, оскільки безпосередньо *якість* неможливо виміряти, тобто відобразити числовим еквівалентом. Підтвердженням сказаного є розмите означення поняття “якість”, наведене у чинному ДСТУ ISO 9000:2015 [3]: *якість* (англ. - *quality*) – ступінь, до якого сукупність власних характеристик об'єкта задовольняє вимоги (Примітка 1. Термін “якість” можна вживати з такими прикметниками, як низька, хороша або висока).

Власне, це відображено і у наведеному вище означенні кваліметрії, як наукової дисципліни, предметом вивчення якої є методологія та проблематика кількісного оцінювання якості продукції. А поняття “оцінювання” та “вимірювання” зовсім не ідентичні, що впливає із аналізу чинних нормативних документів (НД), зокрема VIM3 [4].

У сучасному трактуванні *метрологія* (англ. - *metrology*) - наука про вимірювання та їх застосування, а *вимірювання* (англ. - *measurement*) – процес експериментального знаходження (визначення) одного чи більше значень величини, які обґрунтовано можуть бути приписані величині [4]. Із наведеними вище поняттями безпосередньо пов'язане таке ключове поняття метрології як “*єдність вимірювань*” – стан вимірювань, за якого їх результати виражаються в узаконених одиницях, а характеристики похибок або невизначеності (непевності) вимірювань відомі з певною ймовірністю і не виходять за встановлені границі [5]. Одною із умов забезпечення єдності вимірювань є встановлення “*метрологічної простежуваності*” (англ. – *metrological traceability*), коли отриманий результат вимірювання можна пов'язати із значенням величини, яке відтворюється національними або міжнародними еталонами через неперервний ланцюг зв'язань, для кожного з яких зазначено характеристики невизначеності (непевності) [4, 5].

Отже, поняття “*вимірювання*” безпосередньо пов'язане з такими поняттями, як *результат вимірювання*, *єдність вимірювань*, *точність вимірювань*, *метрологічна простежуваність вимірювань* та іншими ключовими поняттями метрології, що дозволяє порівнювати результати вимірювань характеристик ідентичних об'єктів, отримані в різних лабораторіях, різними методами і засобами, в різних умовах, а також реалізувати умову метрологічної простежуваності результатів вимірювань.



Зазначені вище ознаки поняття “вимірювання” зовсім не властиві поняттю “оцінювання”, що входить до означення сутності кваліметрії. Отже, застосовуючи поняття *оцінювання* неможливо порівняти результати дослідження якості ідентичної продукції, отримані в різних лабораторіях, різними методами і засобами, в різних умовах та здійснити метрологічну простежуваність результатів оцінювання якості продукції, що, природно, суттєво звужує можливості кваліметрії щодо об'єктивності та достовірності отриманих оцінок якості продукції.

Одним із шляхів поєднання методології кваліметрії та метрології, на думку авторів, є використання у теорії і практиці кваліметрії концептуального поняття “*кваліметричні вимірювання*”, тобто вимірювання у кваліметрії, як одного із видів вимірювань, означення його суті і мети, а саме: *кваліметричні вимірювання* – непрямі вимірювання рівня якості продукції, значення якого знаходять шляхом опрацювання результатів вимірювань її властивостей за методологією багатовимірної шкалювання. *Рівень якості продукції* – відносна характеристика якості продукції, яка ґрунтується на порівнянні значень оцінюваних показників якості продукції з базовими значеннями відповідних показників, і повністю відповідає поняттю “*вимірювана величина*” (англ. - *measurand*)) у сучасному трактуванні цього терміну відповідно до вимог VIM3 [4].

Основою для порівняння (англ. - *reference*) відповідно до VIM3 [4] чи *мірою* величини у процедурі кваліметричних вимірювань є *стандартний (базовий, еталонний) зразок* із характеристиками, встановленими у процедурі його метрологічної атестації. Числові значення характеристик еталонного зразка встановлюють згідно ДСТУ ГОСТ ІСО 5725-1:2005 [6] як прийняті *еталонні значення* (англ. – *accepted reference value*) - значення, які використовують як узгоджений еталон для порівняння і які визначають як:

- а) теоретичне або встановлене значення, основане на наукових принципах;
- б) приписане або сертифіковане значення, основане на експериментальних даних деяких національних або міжнародних організацій;
- в) узгоджене (на основі консенсусу) або атестоване значення, основане на спільній експериментальній роботі, що проводиться науковим чи інженерним колективом;
- г) математичне сподівання вимірюваної величини, тобто середнє значення сукупності результатів вимірювань - лише у випадку, коли а), б) і в) недоступні.

Кваліметричне вимірювання, загалом, як і будь-яке інше вимірювання, складається з двох основних етапів:

♦ *проведення вимірювального експерименту*, під час якого вимірюють різні властивості досліджуваної продукції - механічні, просторові, електричні, магнітні, теплові, компонентний склад тощо;

♦ *опрацювання результатів вимірювального експерименту*, під час якого знаходять значення *рівня якості* досліджуваної продукції  $Q$ , що і є результатом кваліметричного вимірювання.

Загалом *перший етап* кваліметричних вимірювань є їх експериментальною частиною і його можна означити як *технологічні вимірювання*, а *другий етап* – це опрацювання результатів проведених експериментів з метою визначення *результату вимірювання*, тобто *рівня якості*  $Q$  досліджуваної продукції.

### Література

1. Азгальдов Г.Г. Метрология и квалиметрия: вопросы идентификации/ Г.Г. Азгальдов, А.В. Костин // Мир измерений, 2010. - №1. - С. 4–7.
2. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: [учебник для вузов] / И.Ф. Шишкин. - Спб.: Питер, 2010. – 192 с.
3. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів: ДСТУ ISO 9000:2015 (ISO 9000:2015, IDT). – [Чинний від 2016-07-01]. – К.: ДП "УкрНДНЦ", 2016. – 45 с. - (Національний стандарт України).
4. International vocabulary of metrology: Basic and general concepts and associated terms (VIM3). JCGM 200:2012 (E/F). – 91 p.
5. Закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність”, №1314-VII від 05.06.2014р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2014 – (Бібліотека офіційних видань). – 28 с. – (Закон України).
6. Точність (правильність) і прецизійність методів і результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення: ДСТУ ГОСТ ІСО 5725-1:2005 (ГОСТ ІСО 5725-1-2003, IDT).

**М.М.Микийчук, д.т.н., проф.; І.П.Микитин, д.т.н., проф.; О.М.Олеськів, к.т.н.;**  
**Б. І. Стадник, д.т.н., проф.; Т.Фрільх, д.т.н., проф.**

## **МЕТРОЛОГІЧНА ПЕРЕВІРКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ**

Засіб вимірювання, результат вимірювання, метрологічні характеристики, метрологічна перевірка, тестування, програмне забезпечення, кібер-фізичні системи.

Результат вимірювання, отриманий із використанням сучасних засобів вимірювання (ЗВ), переважно розраховується програмним забезпеченням (ПЗ) ЗВ. І як не парадоксально метрологічні характеристики ПЗ не визначаються та не нормуються. Враховуючи це, авторами запропоновано концепцію метрологічної перевірки (МП) ПЗ ЗВ та розроблено методи та засоби МП ПЗ ЗВ, які неодноразово представлялися науковій спільноті. Даний матеріал завжди викликав жваве обговорення і, дуже часто, незрозуміння та несприйняття запропонованої концепції. Чому виникає така ситуація? І чому, на думку авторів, потрібно приділити даній проблемі певну увагу.

В першу чергу це пов'язане з тим, що дана робота знаходиться на межі між метрологією та цифровою (мікроконтролерною і мікропроцесорною) технікою, яка за останні десятиліття стрімкими темпами увірвалася у вимірювальну техніку [1, 2].

По-друге, ніхто і ніколи не застосовував метрологічні принципи до цифрової техніки та ПЗ. І, переважно, справді немає потреби їх використовувати. Проте, враховуючи широкую інтеграцію процесорної техніки і, відповідно, ПЗ до засобів вимірювання, які вирізняються саме метрологічними характеристиками, постає закономірне питання – як потрібно враховувати похибки ПЗ і як має проходити МП таких ЗВ, щоб отримати коректний результат перевірки.

По-третє, виробники ПЗ проводять його тестування і справедливо не розуміють, для чого потрібна ще якась додаткова метрологічна перевірка. Проте є певна відмінність між тестуванням ПЗ та МП ПЗ, яку пропонують автори. Тестування дає лише якісну оцінку ПЗ [3]. МП ПЗ в першу чергу дає кількісну оцінку, а саме, дозволяє визначити похибку ПЗ, яке є, умовно, окремим блоком ЗВ і приймає участь у розрахунку результату вимірювання.

По-четверте, на ринок виробництва та послуг жваво виходять кібер-фізичні системи [4, 5], основні елементи яких практично готові до використання. І якщо не сьогодні, то у недалекому майбутньому такі системи стануть основними виробничими одиницями світової економіки, які в залежності від поставленого завдання формуватимуть роботизований комплекс із відповідним ПЗ. І тут виникає два питання. Яке ПЗ повинні використовувати кібер-фізичні системи, щоб вони могли виконувати різні за характером задачі? І за яким критерієм кібер-фізичні системи повинні вибирати ПЗ, в тому ж числі, і для задіяних ЗВ?

Враховуючи вище сказане та ті питання, які виникають при розгляді концепції МП ПЗ ЗВ, авторами розглянуто основні тенденції розвитку метрології сучасних ЗВ, висловлено основні міркування щодо сучасного стану метрологічного забезпечення ЗВ і обґрунтовано необхідність МП ПЗ сучасних ЗВ. Запропонована концепція дозволяє застосувати метрологічні принципи по відношенню до ПЗ, суттєво покращити, спростити та пришвидшити процес метрологічної перевірки сучасних засобів вимірювання, а також уніфікувати МП ПЗ ЗВ.

1. Development of Software Requirements [Електронний ресурс]: Informative Document. – WELMEC 7.1. – Issue 2. – 2005. – 48 p. – Режим доступу до інформації: [http://www.vniims.ru/009lab/docs/welmec\\_7\\_1.pdf](http://www.vniims.ru/009lab/docs/welmec_7_1.pdf).
2. Software Guide (Measuring Instruments Directive 2004/22/EC). 2011. [Електронний ресурс]: WELMEC 7.2. – Issue 5. – 2012. – 120 p. – Режим доступу до інформації: [http://www.welmec.org/fileadmin/user\\_files/publications/WELMEC\\_07.02\\_Issue5\\_SW\\_2012-03-19.pdf](http://www.welmec.org/fileadmin/user_files/publications/WELMEC_07.02_Issue5_SW_2012-03-19.pdf).
3. Kaner, Cem; Falk, Jack; Nguyen, Hung Quoc (1999). Testing Computer Software, 2nd Ed. New York, et al: John Wiley and Sons, Inc. c. 480. ISBN 0-471-35846-0.
4. R. Rajkumar. Cyber-physical systems: the next computing revolution [Електронний ресурс] / R. Rajkumar, I. Lee, L. Sha, J. Stankovic // Design Automation Conference. ACM, 2010. – P. 731-736. – Режим доступу до інформації: <https://www.cs.virginia.edu/~stankovic/psfiles/Rajkumar-DAC2010-Final.pdf>.
5. Edward A. Lee. CyberPhysicalSystems: DesignChallenges [Електронний ресурс] / Edward A. Lee // Режим доступу до інформації: [http://www.cs.virginia.edu/~son/cs851/papers/CPS.challenges\\_ISORC08.pdf](http://www.cs.virginia.edu/~son/cs851/papers/CPS.challenges_ISORC08.pdf).

Л.Й. Воробйов, к.т.н., с.н.с.

### МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КВАЗИДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ КАЛОРИМЕТРІЇ

Ключові слова: диференціальна та квазидиференціальна калориметрія, батарея термопар, теплометрична оболонка, калориметр теплового потоку, теплота згоряння, теплоємність.

Калориметричні вимірювання широко застосовуються для визначення термохімічних і теплофізичних властивостей речовин та параметрів теплообміну у різноманітних процесах. Поширеними є калориметри теплового потоку або кондуктивні калориметри [1, 2]. В такому калориметрі комірку з реакційною посудиною оточено чутливою теплометричною оболонкою, яка зазвичай представляє собою батарею послідовно з'єднаних термоелектричних перетворювачів (термопар). Калориметрична комірка разом з чутливою оболонкою вмонтовані в масивний термостатований блок, а вихід оболонки з'єднано з вимірювально-обчислювальною системою. Теплота, що виділяється або поглинається в комірці, проходить крізь теплометричну чутливу оболонку, в результаті чого оболонка генерує сигнал, який надходить на вимірювально-обчислювальну систему, яка здійснює його вимірювання та опрацювання даних.

Зменшення впливу зовнішніх збурень та інших факторів і, відповідно, похибок вимірювань можна досягти застосуванням диференціальної схеми калориметричних вимірювань [1, 2]. До складу диференціального калориметра, входять дві ідентичні калориметричні комірки, причому досліджуваний процес проходить тільки в одній – основній робочій реакційній комірці, а в іншій – компенсаційній комірці, корисне тепловиділення або поглинання тепла відсутні. Оскільки чутливі елементи комірок включені диференційно, а на обидві комірки однаково впливають зовнішні завади чи збурення, вплив цих завад на вихідний сигнал істотно зменшується і залежить лише від ідентичності комірок і чутливих елементів. Наявність двох однакових комірок призводить до збільшення габаритів і маси приладів. Для вирішення цього протиріччя запропоновано метод квазидиференціальної калориметрії [3] на базі якого можуть бути побудовані прилади різного призначення. Такий прилад має дві комірки - основну робочу з необхідними розмірами для розміщення реакційної посудини і компенсаційну комірку значно меншого розміру, а також ланку корекції сигналу чутливого елемента компенсаційної комірки з заданою передавальною функцією і суматор сигналів.

На рис. 1 представлена загальна структура і блок-схема квазидиференціального кондуктивного калориметра.

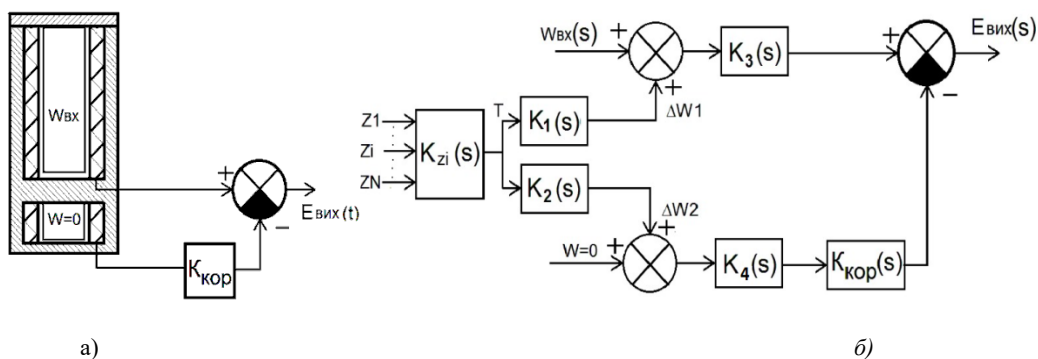


Рис. 1. Структура (а) і блок-схема (б) квазидиференціального кондуктивного калориметра

На блок-схемі вхідна вимірювана теплова потужність  $W_{BX}(s)$ , завади та збурення  $Z_i(s)$ , вихідний сигнал  $E_{ВИХ}(s)$  і передавальні функції ланок представлені в області зображень за Лапласом (оператор  $s$ ).

Рівняння, що пов'язує вихідний сигнал з вхідними має вигляд:

$$E_{ВИХ}(s) = W_{BX}(s) \cdot K_3(s) + \left[ \sum_{i=1}^N Z_i(s) \right] \times \left[ K_1(s) \cdot K_3(s) - K_2(s) \cdot K_4(s) \cdot K_{КОР}(s) \right] \quad (1)$$

Умовою компенсації впливу збурень на вихідний сигнал є:

$$K_1(s) \cdot K_3(s) = K_2(s) \cdot K_4(s) \cdot K_{КОР}(s),$$

яка виконується у разі, коли передавальна функція ланки корекції сигналу компенсаційної комірки відповідає вимозі:  $K_{КОР}(s) = K_1(s) \cdot K_3(s) / K_2(s) \cdot K_4(s)$ .

За виконання цієї умови, рівняння (1) приймає вигляд:  $E_{\text{вих}}(s) = W_{\text{вх}}(s) \cdot K_3(s)$

У загальному випадку ланка корекції може комплексно впливати на амплітудно-частотну характеристику ланцюга, проте, в деяких випадках зручно роздільно регулювати амплітудні і частотно-часові характеристики. Застосування чутливого елемента компенсаційної комірки з такими ж питомими характеристиками, як і відповідні характеристики робочої комірки, і розміщення в компенсаційній комірці спеціального імітатора реакційної посудини може зробити подібними частотно-часові характеристики сигналів чутливих елементів комірок. Тоді в якості коригуючої ланки може бути застосований широкосмуговий підсилювач з регульованим коефіцієнтом підсилення. Тобто, якщо  $K_1(s) \cdot K_3(s) / K_2(s) \cdot K_4(s) = \text{const}$ , тоді  $K_{\text{кор}}(s) = K_{\text{кор}}$ .

Оскільки реакційна посудина та її імітатор мають суттєво різні розміри, для забезпечення подібності їх частотних характеристик запропоновані різні конструкції імітатора, у яких він складений з кількох частин, пов'язаних між собою регульованими тепловими опорами.

Іншим шляхом забезпечення подібності частотних характеристик комірок є застосування методу мультиреферентної квазидиференціальної калориметрії. Ідея цього методу полягає в заміні повномасштабної комірки-референту в диференціальному калориметрі мультиреферентною коміркою з кількома чутливими елементами, які є інерційними елементами першого порядку, сталі часу яких відповідають кореням знаменника передаточної функції робочої комірки. При цьому інерційні елементи включаються у ланцюги паралельної корекції для компенсації реакції на зовнішні завади та збурення.

Застосування багатокоміркових квазидиференціальних систем калориметрії дозволяє значно збільшити продуктивність вимірювань при забезпеченні переваг диференціальних приладів. До складу таких вимірювальних систем входить низка ідентичних калориметричних комірок, які знаходяться у однакових температурних умовах, а також вимірювально-обчислювальна система для опрацювання вихідних сигналів комірок. Серед калориметричних комірок є вимірювальні, в яких розміщують досліджувані зразки та проходять відповідні процеси, а також комірки-референти, які можуть бути пустими або містити еталонні зразки чи компенсаційні нагрівники.

На базі запропонованих методів і структур розроблена низка калориметричних засобів вимірювання. Квазидиференціальний приймач радіаційного теплового потоку РАП-12КД призначений для вимірювання теплового навантаження на об'єкти при різноманітних пожежних випробуваннях. Піранометр СР-К1 (Кут) призначений для визначення інсоляції в залежності від кута нахилу до горизонту, а піранометр СР-М1 (Куб) для визначення інсоляції на поверхнях, орієнтованих за сторонами світу або паралельно фасадам будівлі. Квазидиференціальний бомбовий калориметр КТС-4 призначений для вимірювання теплоти згоряння палива [3]. Багатокоміркова система УИТ-1 призначена для вимірювання теплоємності матеріалів методом покрокового сканування [4].

*Висновки.* Запропоновані методи та засоби квазидиференціальної калориметрії дозволяють покращити експлуатаційні та метрологічні характеристики калориметрів теплового потоку. Застосування компенсаційної комірки з розміром меншим, ніж у робочої, дозволяє при збереженні переваг диференціальної схеми значно покращити масо-габаритні характеристики. Використання спеціального імітатора реакційної посудини з регульованими тепловими опорами забезпечує подібність частотних характеристик калориметричних комірок. Застосування методу мультиреферентної квазидиференціальної калориметрії дозволяє забезпечувати необхідну частотну характеристику компенсаційної комірки шляхом незалежного регулювання параметрів кількох чутливих елементів. Багатокоміркові квазидиференціальні калориметричні системи дозволяють збільшити продуктивність вимірювань при забезпеченні переваг диференціальних приладів.

1. Кальве Э., Прат А. Микрокалориметрия. Применение в физической химии и биологии. - М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. - 478 с.

2. Анатычук Л.И., Лусте О.Я. Микрокалориметрия. - Львов: Вища школа, 1981. - 158 с.

3. Декуша Л., Воробйов Л., Грищенко Т., Бурова З., Назаренко О., Мазуренко О. Квазидиференційний калориметр теплового потоку для визначення теплоти згоряння // Метрологія та прилади – 2011 - № 5, С. 27-31.

4. О.Л. Декуша, Л.И. Воробьев. Измерение теплоемкости методом пошагового сканирования при одновременном сравнении с эталонным образцом. // Український метрологічний журнал – 2016 - №4, С.48 – 51.

**А.О.Ісаченко, аспірант; В.М.Ільченко, к.т.н., с.н.с.**

### **ФОРМУВАННЯ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО РОБОТА**

Ключові слова: похибки, вимірювальні роботи, точність вимірювання, координатні переміщення, вимірювальна головка

В даний час при роботі вимірювального робота бере участь велика кількість вузлів та систем. З їх допомогою вирішують велику кількість метрологічних задач. В умовах інтенсивного автоматизованого виробництва виконуються виміри безпосередньо на виробництві. Тому питання точності вимірювальних робіт на даний час є актуальним.

Відомо, що формування похибки вимірювального робота включає фактори та чинники, які на нього впливають. В першу чергу – це похибка збору інформації, похибка вимірювання координат точок об'єкту та обробки і представлення їх результатів. По друге – це похибка координатних переміщень вимірювальної системи та вимірювальної головки, яка виникає при виготовленні на виробництві. Також ця похибка залежить від статичної та динамічної жорсткості рухомих вузлів та режимів керування.

Враховуючи особливості робіт вимірювальне зусилля і його не однорідність суттєво впливають на точність вимірів при знятті даних в крайніх положеннях робочої зони. Такий фактор ще з'являється при вимірах не жорстких тонкостінних деталей та виробів з малим модулем пружності. Наслідками такої похибки можуть бути прогин подовжувачів і вимірювальних поверхонь, або деформації в зоні контакту датчика та деталі. Встановлено, що похибка координатних переміщень має монотонно змінний характер, тобто зростає при збільшенні вимірювальної довжини. Мінімальне значення цієї похибки отримують при мінімальній довжині та максимальній жорсткості вимірювальної головки [1].

Показано, що одним з джерел похибки вимірювання геометричних деталей є вібрація, температура, а також електрична і механічна інерційність комплексів. Вимірювання геометричних параметрів проводиться шляхом визначення координат точок поверхні деталі, а варіативність даного підходу є теж похибкою вимірювання. Встановлено, що при калібруванні вимірювальних головок визначаються похибки, які дають відбиток в наступних вимірюваннях.

Показано, що на точність вимірювальних робіт впливають умови проведення вимірювання, а саме – температура. Це призводить до того, що деформується корпус і направляючі. Внаслідок цього виникають похибки, які неможливо практично врахувати і коригувати.

Проаналізовано вплив вібрації на вимірювальні роботи, яка викликає високочастотні коливання рухомих вузлів і тим самим впливає на геометричну точність і стабільність роботи вимірювальних систем. Встановлено, що на вимірювальні роботи при визначенні геометричних розмірів впливає пил, який осідає на робочій поверхні деталі і загазованість повітря, що знижує точність переміщень вимірювальних головок робіт.

Проаналізовано вплив температурних деформації деталей і показано, що вони не впливають на точність відліку координат, але на точність результатів вимірювання вони мають великий вплив. Розрахункам піддаються тільки деталі простих конфігурацій, а більш складні майже не можливо розрахувати. Проаналізовано похибку системи керування рухів вимірювального робота і встановлено, що на точність позиціонування датчиків розроблена система керування із зворотнім зв'язком. Це викликано тим, що система керування не спроможна розпізнати різницю двох положень, відстань між якими менше розрядності робота [2].

#### Список літературних джерел

1. Гапшис А.А. Координатные измерительные машины и их применение / А.А. Гапшис, А.Ю. Каспарайтис, М.Б. Модестов, З.А. Раманаускас, Н.А. Серков, В.А. Чудов - М.: Машиностроение, 1988. -328 с.
2. Квасніков В.П. Аналіз похибок вимірювання координатно-вимірювальної машини / В.П. Квасніков, О.М. Безвесільна // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. -2000. - № 3.- С. 25-30.

Є. Т. Володарський, д.т.н., проф.; Л.О. Кошева, д.т.н., проф.

## ВПЛИВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ НА ВІРОГІДНІСТЬ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ

Вимірювання, невизначеність результату, вірогідність прийняття рішення, допусковий інтервал, якість вимірювання, оцінка відповідності

У багатьох практичних завданнях при оцінюванні відповідності об'єкта виходять з результатів вимірювання як основних джерел інформації про стан об'єкта. Через невизначеність вимірювання завжди існує ризик прийняття помилкового рішення щодо відповідності (невідповідності) об'єкта встановленим вимогам. Порівняння інтервалу охоплення з інтервалом допустимих значень  $T_L$  та  $T_U$  є основою для прийняття рішення про відповідність технічним вимогам. Інтервали допустимих значень характеристик об'єкта можуть бути однобічними або двобічними. Ймовірність знаходження результату контрольного вимірювання в однобічному допусковому інтервалі обчислюється за виразом  $P = \Phi(z)$ , де  $z = (y - T_L)/u$  – для нижньої границі та  $z = (T_U - y)/u$  – для верхньої границі допускового інтервалу;  $u$  – стандартна невизначеність результату;  $\Phi(z)$  – функція Лапласа. Для двобічного поля допуску ймовірність визначається як

$$P = \Phi\left(\frac{T_U - y}{u}\right) - \Phi\left(\frac{T_L - y}{u}\right).$$

Показником, який характеризує якість вимірювання відносно умов придатності, що задаються допусковим інтервалом, є *показник вимірювальних можливостей* [1], який визначається як

$$c_m = \frac{T_U - T_L}{4u_m} = \frac{T}{U},$$

де  $u_m$  – стандартна невизначеність, обчислена за експериментальними даними,  $U$  – розширена невизначеність. Для оцінювання співвідношення між  $c_m$  та  $T$ , за якого забезпечується необхідне значення ймовірності вірного прийняття рішення, вводиться відносний показник

$$\tilde{y} = \frac{\eta_m - T_L}{u},$$

який при знаходженні результату вимірювання у межах допускового інтервалу змінюється від 0 до 1.

Для підвищення вірогідності прийняття рішення вводять, так звані, *захисні полоси*, довжина яких пропорційна стандартній невизначеності. Вибір довжини цієї полоси і місце її розташування по відношенню до границь допускового інтервалу забезпечує ймовірність та характер помилкових рішень. Такий вибір особливо важливий, коли значення вимірюваної величини знаходиться поряд з границею поля допуску – ймовірність прийняття неправильного рішення може сягати 50%. Існують два підходи прийняття рішення. Перший з них ґрунтується на простому прийманні і називається *правилом спільного рішення*, коли споживач та виробник узгоджують умови приймання об'єкта, і невизначеність вимірювання задовольняє обидві сторони. Другий підхід пов'язаний із застосуванням відомого методу (методики) випробування з відомими показниками точності, як описано у Guide IEC 115:2007 [2]. При цьому джерела невизначеності мінімізують за рахунок зменшення впливу навколишнього середовища, підтримуючи їх у допустимих межах.

Таким чином, оцінка відповідності заданим вимогам є ймовірнісним завданням, заснованим на вимірювальній інформації. При цьому ухвалення рішення залежить від встановленого правила, яке визначає роль невизначеності вимірювань при формулюванні приймального критерію. Якщо вирішальне правило вибирають, виходячи з вимог до рівня допустимих ризиків, то при цьому завжди може бути обчислена ймовірність відповідності з оцінкою ступеня ризику.

Список літературних джерел

1. IEC GUIDE 115:2007. Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector (Застосування невизначеності вимірювання до оцінювання відповідності при діях у електротехнічному секторі).

2. JCGM 106:2012. Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment (Оцінювання даних вимірювання – Роль невизначеності вимірювань в підтвердженні відповідності).

**О.Є. Середюк, д.т.н., проф., З.Л. Варша, д.т.н., В.В. Малісевич, к.т.н., Н.М. Малісевич**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИРОДНОГО**  
**ГАЗУ НА ЙОГО ТЕПЛОТУ ЗГОРАННЯ**

Ключові слова: природний газ, коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт теплоємності, теплота згорання, стандартні умови, моделювання

Сучасні тенденції зростання вартості енергоносіїв, а також вимоги національного стандарту України [1] зумовлюють необхідність у переході на облік природного газу з врахуванням його енергетичної цінності, що вимагає врахування теплоти згорання газу.

Такий підхід зумовлює актуальність створення сучасних технічних засобів для оперативного визначення теплоти згорання природного газу. Одним із напрямків практичної реалізації цього може бути застосування термоанемометричних перетворювачів, вихідний сигнал яких є функцією від витрати і якісних характеристик природного газу. Водночас відсутніми є дослідження впливу теплофізичних параметрів на функціонування термоанемометричних перетворювачів, що є необхідною умовою для визначення за таких умов теплоти згорання природного газу.

Метою роботи є дослідження впливу коефіцієнтів теплопровідності і теплоємності природного газу на його теплоту згорання.

Моделювання здійснювалося для температури газу 20° С за робочого тиску 0,1 МПа. За базові значення при дослідженні умовно вибраний газ, який за компонентним складом містить за об'ємом 93 % метану, 3,3 % етану, 1,8 % пропану, 1,5 азоту і 0,4 % вуглекислого газу (вузлова точка на рис. 1). При моделюванні змінювали вміст метану в діапазоні (89-97) %, етану (0-6,6) %, пропану (0-3) %, азоту (0-3) % і вуглекислого газу (0-0,8) %. При цьому зміна концентрації кожної із компонент аналітичним методом впливала на вміст інших складових природного газу пропорційним збільшенням або зменшенням до досягнення ними загального об'єму 100 %.

Для кожного складу газу за алгоритмом композиційного аналізу з врахуванням табличних даних розраховувався коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_f$ . Коефіцієнт теплоємності  $c_p$  розраховувався методом адитивності з врахуванням долі кожної компоненти газу. Теплота згорання природного газу розраховувалася стосовно стандартних умов за методикою нормативного документа [2].

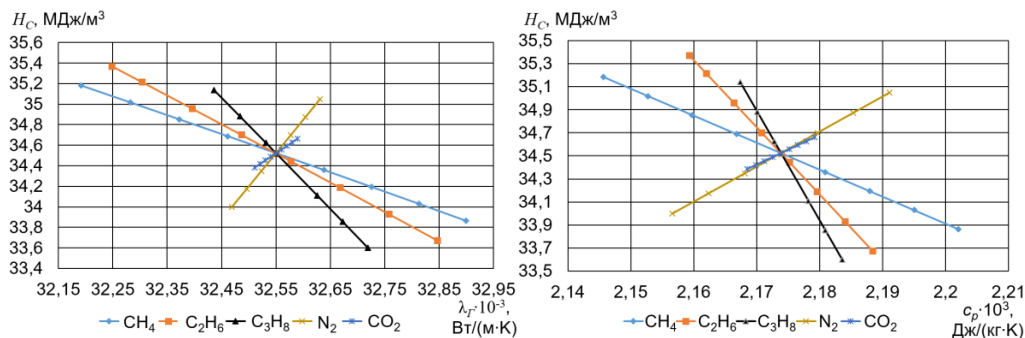


Рис. 1 – Залежність теплоти згорання природного газу від його теплопровідності а) і теплоємності б) при зміні концентрації в ньому метану, етану, пропану, азоту і вуглекислого газу

Результати моделювання є очевидними із наведеної графічної ілюстрації і характеризують не тільки якісні, але і кількісні характеристики впливу параметрів природного газу на коефіцієнти  $\lambda_f$  і  $c_p$  відповідно на зміну теплоти згорання від їхніх значень. Також з графіків можна оцінити чутливість термоанемометра до зміни концентрації кожної з досліджуваних компонент природного газу. Отримані результати відкривають нові напрямки для подальших досліджень функціонування термоанемометричних перетворювачів при контролі енергетичних параметрів природного газу.

Список літературних джерел

1. Природний газ. Визначення енергії. ДСТУ ISO 15112:2009. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 48 с.
2. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки: ГОСТ 30319.1-96. – М.: Изд-во стандартов, 1997.–14 с.

Л.А. Назаренко, д.т.н., проф., Г. І. Петріченко, к.т.н.

### ФОТОМЕТРІЯ СВІТЛОДІОДІВ

Ключові слова: світлодіод, геліометр, фотометр.

Бурхливий розвиток світло діодів створює умови для інтенсивного розроблення та впровадження світлодіодного освітлення в усіх галузях життєдіяльності людини, що забезпечує не тільки високу якість освітлення, але й збереження енергії і зменшення викидів CO<sub>2</sub> в атмосферу. Світлодіоди значно відрізняються від традиційних джерел світла розмірами, температурним режимом, спектром і просторовим розподілом випромінення.

Значні відмінності позначаються на результатах вимірювання, що за використання традиційних підходів спричиняє до значних розбіжностей у результатах вимірювання світлових величин.

Із метою створення загальної методики визначення фотометричних і радіометричних характеристик світло діодів. Міжнародна комісія з освітлення розробила рекомендації з їхнього вимірювання [1]. Специфічні параметри світло діодів спричиняють труднощі в разі використання відомих методик, внаслідок чого з'являються великі невизначеності результатів вимірювання.

У світовій практиці помітних успіхів у цій сфері досягли NIST – Національний інститут стандартів і технологій (США) та РТВ – фізико-технічний інститут (Німеччина). Відмітимо також, що під час вимірювань потужних світло діодів їхні світлотехічі характеристики варто насамперед розглядати як функцію від температури р-п-переходу в усталеному режимі.

Розроблена та сконструйована гоніометрична устава для вимірювання світло діодів LGF-C-42 (LEDGoniophotometerFacility) дає змогу проводити вимірювання в системі С-площин. Максимальний розмір досліджуваного зразка (мотаної плати) складає 42 мм [2].

Вимірювання просторового розподілу є складним завданням із розгляду позиціонування досліджуваного світло діода. Застосування комп'ютера для вимірювання та оброблення отриманих даних, безперечно – одна з найважливіших умов досягнення високої точності результатів і їхньої підготовки для використання.

Із метою автоматизації процесів керування вимірюваннями просторового розподілу випромінення на установці LGF-C-42 розроблено відповідне програмне забезпечення.

Приймачем випромінення є фотометр на базі дифузора-фотоелектричної кулі діаметром 85 мм. Такий підхід дав змогу отримати оптимальне значення рівномірності випромінення на чутливій поверхні приймача, а також під'єднати оптоволоконний кабель спектрометра Avantest ULS2084L-USB2 через спеціальний порт.

Отримані результати вимірювання сили світла та світлового потоку потужних світло діодів за заданої температури р-п-переходу показали рівень точності, що відповідає світовому рівню даного виду вимірювань

1. Measurements of LEDs :CIE 127-2007 [2<sup>nd</sup> edition] – s.l.:s.n.,2007. – 38,
2. Зубков Д.П. Гоніофотометрична установка для вимірювання світлотехнічних характеристик потужних світлодіодів /Д. П. Зубков, Л. А. Назаренко/ Метрологія та прилади – Харків: Фавор, 2014 - №5(49) – с.48-54



**М.О.Клєвцова, директор ТОВ «Фабрика «Світязь»**

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ МАЛОПОТУЖНОГО КОНДИТЕРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ «INDASTRY 4.0»**

Якість продукції, малопотужне виробництво, «цифрове підприємство» технологічне обладнання, автоматизований моніторинг, експрес-контроль

В умовах жорсткої конкуренції тенденція інноваційного розвитку виробництва стає домінуючою. Необхідно значно більше уваги приділяти поліпшенню параметрів і показників продукції, що виготовляється, її якості, підвищенню технічного рівня виробництва. На кожному етапі повинен бути забезпечений суворий контроль якості сировини і готової продукції, адже від того, наскільки налагоджений і автоматизований виробничий процес, залежить якість кінцевого продукту. Вимоги до промислових підприємств і виробленої продукції ростуть з кожним роком. Кондитерська промисловість не є винятком. Найбільш важливу частину технологічного процесу на кондитерському виробництві складає технологічне обладнання, від якості функціонування якого залежить і якість продукції, і техніко-економічні показники роботи підприємства за принципом «нова продукція – нова технологія – сучасне устаткування» [1].

На великих харчових підприємствах засоби контролю і регулювання вбудовані у потужні виробничі лінії, що дозволяє постійно здійснювати технологічний моніторинг. Сигнали про відхилення від заданих характеристик кінцевого продукту надходять на ранні технологічні стадії, де автоматично виконується корекція тих чи інших параметрів. Особливістю малих та середніх підприємств є те, що вони зазвичай мають обмежені ресурси (фінанси, виробничі площі, кваліфікація та технічна компетентність персоналу), тому перед ними постає питання впровадження сучасних систем автоматизації та інтелектуальних технологій, які дозволяють в режимі реального часу оптимізувати роботу окремих малих машин, скорочуючи і усуваючи ризики відмов, які можуть вплинути на якість продукції.

Кондитерське виробництво, як і багато інших, стикається з проблемою оптимального використання технологічного обладнання. Кожен технологічний процес таких виробництв є багатостадійною системою з послідовно-паралельним видом руху матеріального потоку [2]. Процес одержання виду продукції включає низку певних операцій. При цьому кожному виробу і на кожній операції його обслуговування зіставляється певна кількість технологічного обладнання. Проте погіршення якості продукції може відбуватися в процесі приготування на якомусь окремому етапі і виникає задача автоматизованого експрес-контролю показників якості на кожному етапі технологічного процесу. Факторами, що суттєво впливають на якість продукції є визначення критичних точок контролю (КТК); встановлення критичних меж для кожної КТК; встановлення процедур моніторингу; розробка коригувальних дій; встановлення процедур обліку і ведення документації; становлення процедур перевірки кінцевої продукції тощо.

Технологічне обладнання, вузли апарати, які використовуються на технологічних лініях, зв'язані безперервним матеріальним потоком, що обумовлює перенастроювання кожного апарату робіт згідно з технічним регламентом з початком та кінцем внутрішніх операцій. Тому узгодження технологічних операцій з урахуванням технології приготування необхідно синхронізувати так, щоб погоджувати початок наступної операції та кінець попередньої без простою обладнання. Причому синхронізувати роботу технологічних ліній так, щоб найбільш оптимально завантажити технологічне обладнання, мінімізувати число виробничих змін, скоротити число перенастроєнь.

Дана задача може бути вирішена реалізацією нових підходів в промисловій політиці. Уже в найближчому майбутньому пряма інформаційна взаємодія різних типів пристроїв і установок буде невід'ємною умовою функціонування практично будь-якого виробництва. Ця технологія тісно перетинається з промисловим «Інтернетом речей» (ІоТ) [3], який, в свою чергу, є ключовою складовою перспективної концепції «Індустрія 4.0» [4]. Дана концепція передбачає обмін даними між усіма учасниками, які задіяні у виробничому ланцюжку: фахівцями підприємства, виконавчими компонентами, роботами, продуктами, а також іншими системами і установками. Саме такі підприємства сьогодні називають «цифровими», або «розумними».

Автоматичне управління широко застосовується в кондитерському виробництві. Так, сучасні кондитерські печі – це повністю автоматизовані об'єкти, де всі операції виконуються без участі

людини, а оператор лише задає на початку випічки необхідні параметри і стежить за справністю апаратури. Автоматичні системи управління кондитерськими печами здійснюють безперервний контроль і точне регулювання параметрів печі, таких як температура в пекарній камері на всіх стадіях випічки, швидкість потоку нагрітого повітря всередині камери, контроль обертання візка, що забезпечує високу якість продукції, що випускається.

Особливістю процесів виробництва, що визначає актуальність і економічну ефективність їх автоматизації, є наявність великого числа різних фізико-хімічних, фізичних, біохімічних, теплових і ін. методів впливу на сировину, напівфабрикати і готову продукцію, що вимагають особливої чіткості ведення процесів і оптимального режиму управління. Технологічні процеси приготування кондитерських виробів визначаються багатостадійністю і значною складністю; різноманіттям і нестабільністю режимів на різних стадіях технологічного процесу виробництва.

Тенденцією останніх років є створення автоматизованих інтелектуальних систем моніторингу обладнання з використанням нейронних мереж на базі нових методів нелінійної обробки діагностичної інформації [5]. Застосування нейронних мереж дає можливість вирішувати нелінійні задачі класифікації технічних станів об'єкта контролю, вирішувати завдання прогнозування зміни параметрів технологічного процесу в часі, звести до мінімуму суб'єктивну складову оцінки якості технологічного процесу і показників ефективності роботи технологічного обладнання. При цьому контрольоване обладнання оснащується стаціонарною системою допускового контролю збору телеметричної інформації (вібрації, температури, миттєвих значень струму в ланцюзі електродвигуна, шуму, видаваного машиною в процесі її роботи). Далі інформація транслюється на віддалений сервер за допомогою технології GSM для її зберігання та математичної обробки. Система моніторингу здійснює безперервний збір інформації в режимі реального часу з функціонуючого обладнання. Даний підхід дозволяє накопичувати необхідні статистичні дані роботи обладнання для створення потужної інформаційної бази і нейронних мереж.

Таким чином:

– на сучасному етапі розвитку ІТ-технологій інформаційні зв'язки між наукою, розробниками обладнання та промисловими підприємствами можна забезпечити шляхом створення інформаційного простору функціонуючої машини;

– побудова високоєфективної системи моніторингу та технічного діагностування обладнання кондитерського підприємства неможливо без застосування сучасного математичного апарату нелінійної обробки даних [6]. Таким апаратом є технологія нейромережевого аналізу даних.

– для успішного застосування нейромережевого аналізу необхідно мати великий обсяг статистичних даних по параметрам роботи технологічного обладнання в різних режимах роботи і технічних станах.

– застосування «хмарних» технологій передачі, зберігання і обробки телеметричної інформації з контрольованого обладнання [7] дозволить істотно спростити і знизити вартість системи моніторингу, забезпечивши зручний доступ до інформації всім зацікавленим суб'єктам.

#### Список літературних джерел

1. Тарасюк В.П. Основні положення методики побудови оптимального розкладу управління обладнанням паралельних технологічних процесів на основі експертних оцінок / В.П. Тарасюк Н.И. Чичикало // Зб. наук. пр. Доннту. – Донецьк: Доннту, 2004. – с. 74-81.

2. Поттосина С.А. Экономико-математические методы и модели. Мн.: БГУИР, 2003. – 94 с.

3. Olivier Hersent, David Boswarthick, Omar Elloumi. The Internet of Things: Key Applications and Protocols. — Willey, 2012. — 370 p.

4. Індустрія 4.0. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://appau.org.ua/industriya-4-0/>

5. Омату С. Нейроуправление и его приложения / С. Омату, М. Халид, Р. Юсоф // – М.: Радиотехника, 2000. – 272 с.

6. Асеев Г.Г. Нейросетевой анализ непрерывных потоков данных из электронных хранилищ // Системы обробки інформації. – Випуск 4(111). – Харків: ХНУПС, 2013 – С. 52-56.

7. Барсков А. Сети для IoT: LPWAN // Журнал сетевых решений/LAN. 2016. № 11.

С. І. Ковтун, к.т.н.

## БЮДЖЕТ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРИ ВІДТВОРЕННІ ОДИНИЦІ ПОВЕРХНЕВОЇ ГУСТИНИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ ЗА ЗАКОНОМ ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА

Ключові слова: метрологічне забезпечення, поверхнева густина теплового потоку, бюджет невизначеності.

Вимірювання поверхневої густини теплового потоку широко використовуються в технічних системах при діагностуванні теплового стану огорожувальних та несучих конструкцій, контролі теплових параметрів об'єктів та автоматизації теплових процесів. З появою нових завдань в теплотерії, розв'язання яких вимагає розширення діапазону вимірювань і границь температури експлуатації засобів вимірювання теплового потоку, постають питання щодо удосконалення метрологічного забезпечення теплових величин, що сприятиме достовірності отримуваних результатів.

Серед можливих способів відтворення одиниці вимірювання поверхневої густини теплового потоку [1], чільне місце посідає її реалізація через електричні величини. На рис. 1 представлена узагальнена схема формування теплового потоку та визначення його густини.

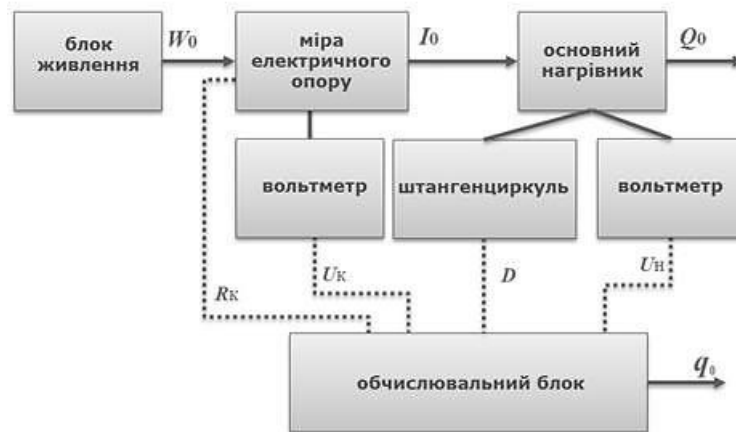


Рис. 1. Схема формування теплового потоку та визначення його густини

Спосіб полягає у формуванні теплового потоку на основному нагрівнику шляхом підведення до нього електричної потужності  $W_0$ , згенерованої блоком живлення, через включену послідовно в ланцюг міру електричного опору номіналом  $R_k$ ; при цьому проводять вимірювання значень напруги на виводах міри електричного опору  $U_k$ , на виводах основного нагрівника  $U_n$  та вимірювання діаметру його робочої поверхні  $D$ .

За законом Джоуля-Ленца в усталеному режимі ( $t = const$ ) та з урахуванням геометричних параметрів нагрівника, вираз для знаходження відтвореного у такий спосіб значення поверхневої густини теплового потоку матиме вигляд:

$$q_0 = U_n \cdot U_k / (R_k \cdot F) + \Delta q_d + \Delta q_c, \quad (1)$$

де  $F = \pi D^2 / 4$  – площа основного нагрівника;  $\Delta q_d$  – некомпенсований тепловий потік;  $\Delta q_c$  – теплові втрати через теплоємність основного нагрівника.

Стандартна невизначеність густини теплового потоку  $q(x) = f(U_n, U_k, R_k, D)$  згідно з міжнародними рекомендаціями [2] виражається як:

$$u_c(q) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial q(x)}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i)} \quad (2)$$

Основними джерелами невизначеності є:

1. При визначенні теплової потужності: виміри напруги на виводах нагрівника вольтметром; калібрування вольтметра в діапазоні вимірюваних значень напруги на виводах нагрівника; виміри напруги на виводах міри електричного опору вольтметром; калібрування вольтметра в діапазоні вимірюваних значень напруги на виводах міри електричного опору; калібрування міри електричного опору.

2. При визначенні площі нагрівника: виміри діаметра нагрівника штангенциркулем; калібрування штангенциркуля.

При порушенні умов стаціонарності температурного режиму вимірювань відбувається нагрівання або охолодження нагрівника, при цьому частина потужності витрачається на зміну його температури. Змінення температури вимірювальної комірки призводить до неконтрольованого притоку або відтоку теплоти, залежить від теплоємності основного нагрівника. Отже, додатковими джерелами невизначеності є втрати теплової потужності через некомпенсований тепловий потік та теплоємність нагрівника.

На прикладі метрологічного комплексу, який реалізує відтворення одиниці вимірювання в діапазоні значень від  $100 \text{ Вт/м}^2$  до  $20\,000 \text{ Вт/м}^2$  методом гарячої захищеної пластини [3], виконано оцінку складових невизначеності вимірювань (див. табл.1, рис.2).

Табл. 1. Внесок окремих складових у загальну невизначеність

Джерела невизначеності	Позначення	Відсоток у загальній невизначеності при $100 \text{ Вт/м}^2$	Відсоток у загальній невизначеності при $2 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$
Вимірювання діаметра основного нагрівника	$u1(F)$	9	20
Вимірювання напруги на виводах основного нагрівника	$u2(U_H)$	4	11
Вимірювання напруги на виводах котушки опору	$u3(U_K)$	8	18
Калібрування міри електричного опору	$u4(R_K)$	14	30
Некомпенсований тепловий потік	$u5(D)$	23	2
Теплові втрати через теплоємність основного нагрівника	$u6(C)$	41	18

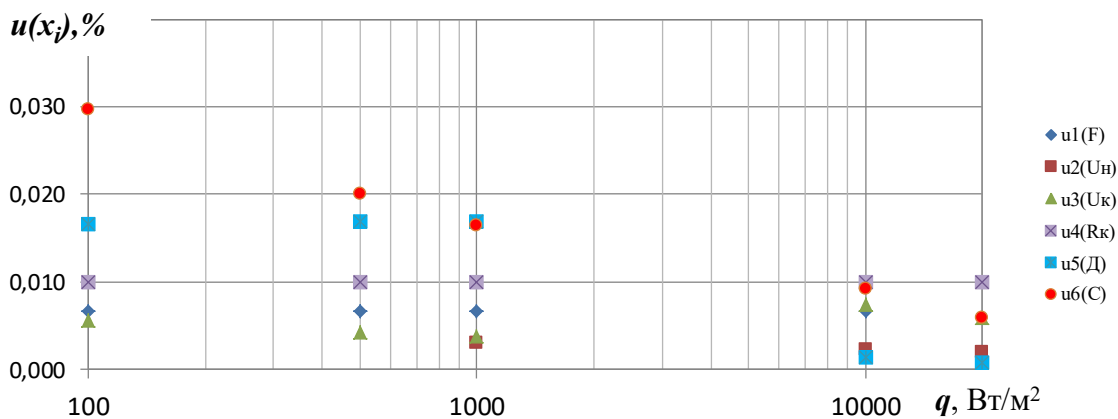


Рис. 2. Розподіл оцінок складових невизначеності в діапазоні вимірюваних величин

Висновок: при відтворенні одиниці вимірювання поверхневої густини теплового потоку через електричні величини найбільший вплив на сумарну стандартну невизначеність при малих значеннях фізичної величини має теплоємність нагрівника.

#### Список літературних джерел

1. Ковтун С. И. Воспроизведение единицы измерения поверхностной плотности теплового потока / С. И. Ковтун, Л. В. Декуша // Український метрологічний журнал. – 2016. – № 4. – С. 45-47. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Umlzh\\_2016\\_4\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Umlzh_2016_4_16).
2. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. – JCGM, 2008. – 134 p.
3. ДСТУ ISO 8302:2008 Теплоізоляція. Визначення теплового опору та пов'язаних з ним характеристик в усталеному режимі приладом із захищеною гарячою пластинною (ISO 8302:1991, IDT).

**В.Д.Кузовик, д.т.н., проф.; О.В.Булигіна, к.т.н. доц.; О.Б.Іванець, к.т.н., доц.; Ю. Ю.Оникієнко, к.т.н.**

## **МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЛЬОТНОГО СКЛАДУ**

Авіаційні події, психофізіологічний стан, льотний склад, електроенцефалографія, кефалографія.

Статистичний аналіз причин виникнення авіаційних подій та інцидентів за останні 10 років доводить, що 43% таких подій та інцидентів сталися через помилкові дії та порушення екіпажами повітряних суден правил льотної експлуатації. Тому постає необхідність у розробці методики ідентифікації психофізіологічного стану льотного складу та можливості пілотами прийняття адекватних рішень в екстремальних ситуаціях. Специфіка оцінювання психофізіологічного стану льотного складу полягає в тому, що окрім об'єктивних факторів, потрібно також враховувати і суб'єктивні фактори, які в більшості випадків переважають, що обумовлює визначення рівня професійної придатності. До суб'єктивних факторів, в першу чергу, відносяться категорія темпераменту льотного складу. Кожна з категорій відповідає визначеній сукупності психофізіологічних характеристик і параметрів, починаючи з рівня інтелекту і закінчуючи значеннями антропометричних параметрів. Тому можна прийняти розподіл фахівців льотного складу за категоріям темпераменту як ключову ознаку.

Необхідно зазначити, що для льотного складу важливим показником є критерій стійкості психофізіологічного стану до впливу екстремальних фізичних та психологічних факторів польоту. Тому пропонується на основі функції ідентифікації дослідити ступінь резерву організму, базуючись на значеннях психофізіологічних параметрів, що дозволить розробити методику оцінювання психофізіологічних можливостей організму та здійснити прогнозування психофізіологічного стану льотного складу [1].

Особливістю запропонованої методики є впровадження новітнього підходу до аналізу стійкості організму застосовуючи розроблений на кафедрі біокібернетики та аерокосмічної медицини біомедичний засіб (кефалограф), який досліджує процес функціонального зв'язку вестибулярного апарату з лімбічною системою, за допомогою гістаінергетичного зв'язку. Паралельно із зазначеним засобом кефалографії, для більш глибокого дослідження процесу ідентифікації психофізіологічного стану льотного складу, пропонується новітній підхід до обробки сигналів біоритмів кори головного мозку для визначення енергетичної стійкості психофізіологічного стану пілотів на основі електроенцефалографічних досліджень [2].

Враховуючи викладене, сутність ідентифікації полягає в наступному. Початкові умови полягають в тому, що в нормованих документах наведені параметри сталості психофізіологічного стану льотного складу. Кефалографія надає кількісні показники вертекса вестибулярного апарату, а сигнали біоритмів-параметри перехідних процесів в корі головного мозку.

В результаті, застосовуючи розроблену методику, реалізується процес ідентифікації сталості психофізіологічного стану льотного складу.

В роботі запропонована методика визначення параметрів ідентифікації льотного складу. Основою підходу є зменшення впливу людського фактору при проведенні психофізіологічних досліджень, використання інструментального устаткування при аналізі психологічної та фізіологічної складової. В якості інструментів запропоновано використовувати електроенцефалографічні та модернізовані кефалографічні дослідження.

### Список літературних джерел

1. Авторське свідоцтво №52712 України розрахунок інформативних параметрів електроенцефалограми для оцінювання психофізіологічного стану операторів/ Булигіна О.В., Кузовик В.Д., Гордєєв А.Д.; заявник НАУ - №52986 заявл.22.10.2013р, опубл. 20.12.2013р
2. Є.Т Володарський. Концепція прогнозування психофізіологічного стану льотного складу./ Володарський Є.Т, Булигіна О.В., Іванець О.Б.// Метрологія та прилади.– №2(64)2017.–С.49

**В. Д. Кузовик, д.т.н., проф.; О. Б. Іванець, к.т.н., доц.; В. Л. Кучеренко к.т.н., доц.**

## **ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ СТІЙКОСТІ ОРГАНІЗМУ ПІЛОТІВ**

Безпека польотів, стійкість організму, ефективність методики, достовірність діагнозу, якість медичного обладнання,

За останні 5 років в авіаційній галузі сталося 108 авіаційних подій з повітряними суднами, внесеними до Державного реєстру цивільних повітряних суден України, із них 17 катастроф. За цей період з повітряними суднами авіації загального призначення сталося 37 авіаційних подій, із них 16 катастроф. Останні роки зростає кількість подій з людським жертвами, що мають місце при експлуатації повітряних суден, не внесених до Державного реєстру цивільних ПС України. Основним фактором, що призводив до виникнення авіаційних подій та інцидентів, став людський фактор, що становить 43,6% від загальної кількості причинних факторів. У 41% випадків головною або супутньою причиною виникнення авіаційних подій та інцидентів став технічний фактор. Фактор середовища становить 15,4 %. Тобто дія людського фактору як екіпажу так і персоналу є найбільшим важелем в складній системі безпеки польотів. Тому дослідження в даній області спрямовані на комплексний аналіз всіх критеріїв, що впливають на забезпечення ефективності безпеки польотів. Відповідно до правил медичного забезпечення і контролю польотів цивільної авіації України [1], особлива увага приділяється формуванню стійкості організму пілотів до факторів польоту. Ефективність оцінювання стійкості організму пілотів залежить від критеріїв, що можуть бути згруповані за наступними класами: ефективність обраної методики оцінювання стійкості організму льотного складу, ефективність обладнання, що використовується при методиці оцінювання стійкості організму та достовірність прийняття рішень лікарсько-льотною сертифікаційною комісією. Достовірність прийняття рішень лікарсько-льотною сертифікаційною комісією, в свою чергу, залежить від кваліфікації лікарів-експертів. Якість методики оцінювання стану здоров'я льотного складу складається з 13 етапів, основним з яких є дослідження серцево-судинної системи та оцінювання психофізіологічного стану пілотів [2]. Дані етапи затверджені правилами медичної сертифікації та є чинними до теперішнього часу. Згідно правил медичної сертифікації, є комплекс медичного обладнання, діагностування на якому входить до обов'язкового переліку діагностичних процедур, а саме: електрокардіографія, велоергометрія, електроенцефалографія, реоенцефалографія, рентгенографія та ряд лабораторних досліджень. Визначальними обстеженнями, при цьому, є дослідження психофізіологічного стану пілотів за допомогою електроенцефалографії та інших методів дослідження. Важливим питанням в процесі даних медичних досліджень являється забезпечення достовірного медичного діагнозу, що може бути досягнутим ефективною експлуатацією зазначеного обладнання.

Ефективність експлуатації медичного обладнання залежить від надійності його конструктивних складових та від стратегії експлуатації, яка застосовується. За даними проведених досліджень, на теперішній час прийнята стратегія експлуатації «за фактом відмови», яка, в свою чергу, знижує рівень ефективності процесу надання медичних послуг. Перспективною стратегією експлуатації є експлуатація за фактичним технічним станом, що дає можливість керувати технічним станом обладнання з метою забезпечення заданого рівня експлуатаційної надійності, безпеки та ефективності функціонування при мінімальних витратах на експлуатацію.

Тому, актуальною задачею є забезпечення ефективної експлуатації медичного обладнання, яке застосовується при медичній сертифікації льотного складу та прийняття рішення щодо допуску польотів, що надає можливість підвищити достовірність діагностування стійкості організму пілотів, що в свою чергу, знизить ризики в авіаційній галузі.

Список літературних джерел

1. Галузева програма з безпеки польотів. Наказ Міністерства інфраструктури України 15.01.2014 № 18.
2. Наказ Державіаслужби від 23.01.2017 №36 "Про затвердження планів медичного забезпечення безпеки авіації на 2017 рік"

**В. Б. Большаков, д.т.н., с.н.с.; Н. І. Косач, д.т.н., проф.**  
**СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАННЯ ЗВТ ВИТРАТИ**

Технічний регламент, оцінка відповідності, засоби вимірювальної техніки, калібрування,  
невизначеність вимірювань

У 2015 році був прийнятий Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» (№ 124-VII від 15.01.2015), який набув чинності з 10.02.2016 й у якому визначено правові й організаційні засади розроблення, прийняття й застосування технічних регламентів і передбачених ними процедур оцінювання відповідності, зокрема – добровільного.

З цього часу законодавство про оцінку відповідності продукції містить

- Закон України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності»;
- міжнародні договори України, згоду на обов'язковість виконання яких надала Верховна Рада України;
- інші нормативно-правові акти що регулюють відносини в цій сфері.

Відмінність нової методології оцінювання відповідності від діючої раніше, яка була зарегульована державою й здійснювалася призначеними комісіями по квазітиповим програмам відповідно до ДСТУ 3400:2006 «Метрологія. Державні випробування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення і розгляд результатів», ДСТУ 3215-95 «Метрологія. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення», які втратили чинність з 29.03.2017 згідно з Наказом ДП «УкрНДНЦ» від 10.03.2017 № 39, полягає у першу чергу у тому, що виробник продукції або його уповноважений представник **самостійно**

– **складає декларацію про відповідність** виробленої продукції всім вимогам, які застосовуються до неї та визначені у відповідних технічних регламентах (ТР), положеннях відповідних національних стандартів та нормативних документів Міжнародної організації законодавчої метрології (МОЗМ), зазначених у цих ТР;

– **обирає призначений орган** – орган з оцінювання відповідності, який призначено Центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері технічного регулювання, для виконання ним як третій незалежній стороною перевірки декларації й продукції на відповідність ТР.

Таким ТР для засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) є Технічний регламент засобів вимірювальної техніки, у якому встановлені суттєві вимогам до цієї продукції й процедури оцінювання її відповідності встановленим вимогам, що затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 24.02.2016 № 163 «Про затвердження Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки», відповідно до статті 5 Закону України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності».

Слідє відмітити, що процедури оцінювання відповідності, застосування яких передбачено цим ТР для широкого круга типів ЗВТ, що експлуатуються в Україні, реалізовані як відповідні **модулі оцінювання**, які розроблені й застосовуються на основі принципів, визначених Угодою Світової організації торгівлі (СОТ) про технічні бар'єри у торгівлі, що є додатком до Марракеської угоди про заснування СОТ 1994 р., та затверджених КМУ.

Зокрема, вимоги та процедури оцінювання лічильників води й газу, які є одними з найбільш затребуваними й поширеними на сьогодні ЗВТ витрати в Україні й розгляд яких є предметом даної роботи, регламентуються **модулями В + F** або **В + D** або **Н1**.

**Модуль В:** Перевірка типу – частина процедури оцінювання відповідності, згідно з якою призначений орган досліджує технічний проект ЗВТ, перевіряє і підтверджує його відповідність застосованим вимогам ТР. Перевірка типу проводиться в один із способів, наведених в ТР. Рішення про відповідний спосіб перевірки типу та необхідну кількість зразків для цього приймає призначений орган.

**Модуль F:** Перевірка відповідності типу за результатами перевірки ЗВТ – частина процедури оцінювання відповідності, згідно з якою виробник повинен

- вживати заходи, необхідні для забезпечення однорідності партій виготовлених ЗВТ, надавати такі засоби для перевірки у вигляді однорідних партій, та перевірки відповідності

виготовлених ЗВТ затвердженому типу, описаному в сертифікаті перевірки типу, й складеної декларації про відповідність застосованим вимогам ТР;

– наносити знак відповідності і додаткове метрологічне маркування, передбачені ТР, й ідентифікаційний номер призначеного органу на кожний окремий ЗВТ, який відповідає затвердженому типу.

Треба підкреслити, що

– вибірку ЗВТ для перевірки відбирають з кожної партії згідно зі статистичною процедурою, яку складають відповідно до вимог ТР. Усі ЗВТ у виборці повинні бути індивідуально досліджені шляхом проведення випробувань, передбачених відповідними національними стандартами з переліку чинних національних стандартів та/або нормативними документами МОЗМ та/або еквівалентних випробувань, передбачених іншими певними технічними специфікаціями;

– виробник шляхом складання декларації й нанесення знаку відповідності на виготовлений ЗВТ бере виключно на себе відповідальність за його відповідність усім вимогам, які застосовуються до таких засобів і визначені у певних ТР.

**Модуль D:** Перевірка відповідності типу шляхом забезпечення якості виробничого процесу – частина процедури відповідності, згідно з якою виробник показує, що для виробництва, контролю готової продукції та випробувань відповідних ЗВТ застосовується схвалена на відповідність ДСТУ ISO 9001:2015 «Системи управління якістю. Вимоги» система управління якістю (СУЯ), чим й гарантує відповідність ЗВТ вимогам певним ТР.

**Модуль H1:** Перевірка відповідності на основі цілковитого забезпечення якості з експертизою проекту – процедура оцінювання відповідності, згідно з якою виробник повинен доказати, що застосовує для проектування, виробництва, контролю готової продукції та випробувань відповідних ЗВТ схваленої СУЯ, що є гарантією якості виготовлених ЗВТ не тільки при випуску з виробництва, але й під час їх експлуатації; піддає нагляду схваленої СУЯ та експертизі технічний проект ЗВТ на адекватність.

При виборі процедури оцінювання відповідності (модулів) виробник повинен керуватися як типом свого виробництва (серійне, малі партії або одиничне), так й метою просування своєї продукції на світовому ринку. Так, наприклад, обирати модуль H1 рекомендується для оцінювання відповідності ЗВТ витрати, які виготовляються серійно, починаючи з їх проектування (розроблення). Оцінювання відповідності за процедурою B + F рекомендується для ЗВТ витрати, які виготовляються у одиничному екземплярі, наприклад, витратомірні установки. Оцінювання відповідності за процедурою B + D найбільш підходить для ЗВТ витрати, які виготовляються малими партіями.

Але, незалежно від того, яку процедуру виробник обрав для оцінювання відповідності ЗВТ витрати, які виробляє, він повинен гарантувати, що відповідні ЗВТ відповідають застосованим вимогам певних ТР, зокрема вимозі щодо діапазону та похибки вимірювання, які визначаються під час їх калібрування, про що і заявляє під свою виключну відповідальність.

Методики калібрування ЗВТ витрати визначають у їх нормативних документах разом з процедурою оцінювання невизначеності вимірювання при їх калібруванні, які повинні враховувати вимоги EA-4/02 M:2013 «Вираз невизначеності вимірювання при калібруванні», ДСТУ ISO 5168:2013 «Вимірювання витрати плинного середовища. Методики оцінювання невизначеності», ДСТУ ISO 7066-1:2007 «Оцінення невизначеності під час калібрування та застосування приладів вимірювання витрати. Частина 1. Лінійні калібрувальні характеристики», ДСТУ ISO 7066-2:2007 «Оцінення невизначеності під час калібрування та застосування приладів вимірювання витрати. Частина 2. Нелінійні калібрувальні характеристики». Методики, які рекомендовані у цих стандартах, гармонізовані з європейськими і їх кваліфіковане застосування є гарантією легітимності результатів калібрування ЗВТ витрати.

Таким чином можна визначити, що на сьогодні в Україні діє демократична гармонізована з Європейськими нормами методологія визнання (оцінки відповідності) ЗВТ витрати й, зокрема, лічильників води та газу.



O. M. Vasilevskyi, DSc, Y. O. Danylyuk

## METHODOLOGY TO EVALUATE THE CONFIDENCE LEVEL FOR CALCULATION OF THE EXPANDED UNCERTAINTY OF MEASUREMENT OF IONS ACTIVITY

Keywords: uncertainty, measurement, metrological risks

In literary sources [1 - 3], only a partial consideration is given to ways of establishing a trust level for calculating the expanded uncertainty of measurement. The mathematical apparatus that would allow reasonable confidence level set in the concept of measurement uncertainty is not described. It is therefore advisable to propose and describe a methodology for estimating trust level based on the metrological risks of the manufacturer and the consumer, which will allow to establish the value of the coefficient of coverage  $k$  for the calculation of the expanded uncertainty of measurement on an example of the use of the developed means for measuring the activity of ions.

The confidence level for calculating the expanded uncertainty is proposed based on the metrological risks of the manufacturer and the consumer by the formula

$$D = 1 - P_n = 1 - (\alpha + \beta), \quad (1)$$

where  $\alpha$  - metrological risk of the manufacturer;  $\beta$  - metrological risk of the consumer;  $P_n$  - the total value of metrological risk.

On the basis of the measurement tool (MT) of an ions activity [4], we describe the procedure for determining the confidence level. The general law of error of measuring ion activity depends on many factors such as activity interfering ions limited properties of ion-selective electrodes, the presence of measurement error in temperature, zero drift, instability of power supply, etc., among which is difficult to identify dominant. This allows us to adopt the law of distribution of the centered value of the error of measuring the activity of ions in the normal, which we describe with the expression

$$p(\Delta pX) = \frac{1}{\sigma_{\Delta pX} \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{\Delta pX^2}{2\sigma_{\Delta pX}^2}\right], \quad (2)$$

where  $\Delta pX$  is centered value of the error of measuring the activity of ions;  $\sigma_{\Delta pX}$  is mean square deviation of the centered value of ion activity.

A compatible two-dimensional confidence level density when measuring the activity of ions taking into account the allowable deviation of measurement error  $\varepsilon$ , which is established by the consumer, is described by the expression [5]

$$p(\Delta pX, \varepsilon) = p(\Delta pX) \cdot p(\varepsilon) = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta pX}\sigma_\varepsilon} \exp\left(-\frac{\Delta pX^2}{2\sigma_{\Delta pX}^2} - \frac{\varepsilon^2}{2\sigma_\varepsilon^2}\right). \quad (3)$$

Taking into account expression (3), the metrological risk of the manufacturer  $\alpha$  is estimated by the formula

$$\alpha = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta pX}\sigma_\varepsilon} \int_{-\Delta}^{\Delta} \int_{-\infty}^{-\Delta-\Delta pX} \exp\left(-\frac{\Delta pX^2}{2\sigma_{\Delta pX}^2} - \frac{\varepsilon^2}{2\sigma_\varepsilon^2}\right) d\varepsilon + \int_{\Delta-\Delta pX}^{\infty} \exp\left(-\frac{\Delta pX^2}{2\sigma_{\Delta pX}^2} - \frac{\varepsilon^2}{2\sigma_\varepsilon^2}\right) d\varepsilon d\Delta pX, \quad (4)$$

the metrological risk of the consumer  $\beta$  is estimated by the formula

$$\beta = \frac{1}{2\pi\sigma_{\Delta pX}\sigma_\varepsilon} \left( \int_{-\infty}^{-\Delta} \int_{-\Delta-\Delta pX}^{-\Delta} \exp\left(-\frac{\Delta pX^2}{2\sigma_{\Delta pX}^2} - \frac{\varepsilon^2}{2\sigma_\varepsilon^2}\right) d\Delta pX d\varepsilon + \int_{\Delta}^{\infty} \int_{-\Delta-\Delta pX}^{-\Delta} \exp\left(-\frac{\Delta pX^2}{2\sigma_{\Delta pX}^2} - \frac{\varepsilon^2}{2\sigma_\varepsilon^2}\right) d\Delta pX d\varepsilon \right). \quad (5)$$

The control increments of the tolerance fields  $\Delta$  for the lower and upper limits are assumed to be equal to zero ( $\Delta = 0$ ), and the admission field is the value of the measured value  $\Delta pX$ , in this case, this is the activity of the  $pX$  ions of the constituent elements of humus, we define by the formula

$$\Delta pX = \frac{pX_{\max}}{100} \delta_{\max}, \quad (6)$$

where  $pX_{\max}$  is maximum activity of ions of constituent elements of humus (maximum value for nitrate nitrogen is 0,3 pX);  $\delta_{\max}$  is the maximum permissible relative measurement error set by the consumer (normative documents on the measured value of physical value) - for the measuring channel of ion activity this value is 0.7% in the range of measurements from 6 to 0.3 pX.

Substituting calculated tolerances in the formula for estimating metrological risks manufacturer (4) and consumer (5) and solving them using the Maple 10.0 math package we obtain the following numerical values:  $\alpha = 0.0375$ ,  $\beta = 0.00195$ . The total value of the metrological risk is  $P_n = 0.0375 + 0.00195 =$

0.0395, and the confidence level for calculating the expanded uncertainty of the measurement, according to formula (1) will be equal to  $D = 1 - P_n = 1 - 0.0395 = 0.9605$ .

Characteristics of the change of metrological risks of the manufacturer and the consumer depending on the parameter  $\mu = \sigma_\varepsilon / \sigma_{\Delta pX}$ , which establishes the relationship between the mean square deviation of  $\sigma_\varepsilon$ , which is set by the manufacturer (developer) of mean of measurement of activity and mean square deviation of  $\sigma_{\Delta pX}$  of allowable error of measurement of ion activity, which is established by the consumer (normative documents, in which the admissible deviations of measurable values) for  $\sigma_\varepsilon < \sigma_{\Delta pX}$ ,  $\sigma_\varepsilon \approx \sigma_{\Delta pX}$ ,  $\sigma_\varepsilon > \sigma_{\Delta pX}$  are shown in Fig. 1. Characteristics of the change of the general value of metrological risk due to the presence of metrological risks of the manufacturer and the consumer presented in fig. 2.

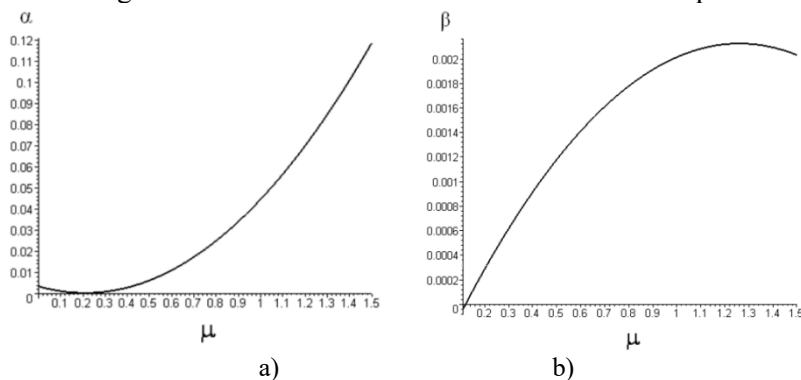


Fig.1 - Characteristics of the change of metrological risks: a) manufacturer; b) consumer

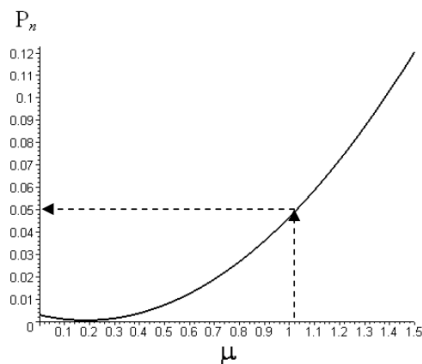


Fig. 2 - Characteristic of the change of metrological risk depending on the parameter  $\mu$

Thus, on the basis of the ratio of the value of mean square deviation that is experimentally installed by the manufacturer means of measuring to the value of mean square deviation permissible by the consumer deviation and the received characteristic of change of metrological risk we can be substantiated graphically determine the confidence level for calculating the expanded uncertainty of measurement (Fig. 2). That is, if the parameter  $\mu$ , which is equal to the ratio of the above-mentioned mean square deviation is 0.93, then having conducted perpendicular to the line from the calculated value of the parameter  $\mu = 0.93$  to the intersection with the characteristic obtained Changes in metrological risk (dashed lines in Figure 2) can be used to determine the significance of the metrological risk of  $P_n$  on on the basis of which the confidence level  $D = 1 - P_n = 1 - 0.04 = 0.96$  is calculated on the expression (1), within which it is probable the majority of the distribution of values that can be attributed to the measured value is located.

### References

1. ISO/IEC Guide 98-1:2009 «Uncertainty of measurement – Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement». – Geneva (Switzerland): ISO. – 2009. – 32 p.
2. Васілевський О. М. Основи теорії невизначеності вимірювань: [підручник] / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський. - Вінниця : ВНТУ, 2015. – 230 с.
3. VASILEVSKYI, O. M. Calibration method to assess the accuracy of measurement devices using the theory of uncertainty. International Journal of Metrology and Quality Engineering, 2014, 5.04: 403.
4. Васілевський О.М. Елементи теорії побудови потенціометричних засобів вимірювального контролю активності іонів з підвищеною вірогідністю : [монографія] / О. М. Васілевський, В. М. Дідич. - Вінниця: ВНТУ. – 2013. – 176 с. – ISBN 978-966-641-505-2.
5. Поджаренко В. О. Оцінка вірогідності автоматизованого контролю складових елементів гумусу в ґрунті / В. О. Поджаренко, В. М. Дідич, О. М. Васілевський // Вісник національного університету „Львівська політехніка”. Серія: „Автоматика, вимірювання та керування”. – 2009. – № 639. – С. 51 – 54.

Е. Й. Маньковська, інженер

## МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТАЛЕВИХ АМОΡФНИХ СТОПІВ ДЛЯ ЦІЛЕЙ ТЕРМОМЕТРІЇ

Ключові слова: термоперетворювач опору, металеві аморфні стопи, метрологічне забезпечення, чутливий елемент, корозія, номінальна статична характеристика перетворення.

У роботах [1-2] теоретично доведено доцільність використання металевих аморфних стопів (МАС) для виготовлення чутливих елементів (ЧЕ) термоперетворювачів при вимірюванні температури в агресивних середовищах. Відомо, що МАС мають високі механічні, електрофізичні та антикорозійні характеристики у агресивних середовищах. Зокрема, однією з важливих характеристик МАС є їх високий питомий електричний опір (на порядок величини більший, ніж для платини), що дає можливість зменшити габарити та інерційність конструйованого термоперетворювача на їх основі. В роботі запропоновано методику та її метрологічне забезпечення для проведення експериментальних досліджень електрофізичних властивостей МАС і їх структурної стабільності в залежності від впливу експлуатаційних факторів.

Методика експерименту ґрунтується на таких основних засадах: 1. Як відомо, електричний опір, головним чином, залежить від геометричних параметрів провідника:  $R = \rho \cdot l / S$ , де  $\rho$  - питомий електричний опір провідника,  $l$  та  $S$  - відповідно, його довжина і площа поперечного перерізу. 2. Якщо внаслідок впливу агресивного середовища відбулася корозія матеріалу, то змінились геометричні параметри провідника (головним чином зміна стосується площі поперечного перерізу  $S$ ), а відповідно - і його електричного опору. 3. В свою чергу, якщо матеріал служить для виготовлення ЧЕ термоперетворювача, то зміна опору  $\Delta R$  спричиняє додаткову похибку, яка в температурному еквіваленті  $\Delta t$  визначається із залежності:  $\Delta t = \Delta R / (R_0 \cdot \alpha)$ , де  $\alpha$  - температурний коефіцієнт опору даного матеріалу (ТКО);  $R_0$  - опір матеріалу до корозії;  $\Delta R$  - зміна опору;  $\Delta t$  - похибка в температурному еквіваленті. Отже, для виготовлення ЧЕ, особливо термоперетворювачів опору, що працюють в умовах агресивних середовищ, слід вибирати матеріали, для яких  $\Delta R \rightarrow 0$  при фіксованих значеннях (для даного типу термоперетворювача) таких параметрів як  $R_0$  та  $\alpha$ . Оскільки відомо, що в термоперетворювачах опору про зміну температури дізнаємося через зміну опору, то очевидний вплив агресивного середовища, який вносить додаткову похибку, що проявляється через відхилення від номінальної статичної характеристики перетворення (НСХП). Одним із основних завдань прецизійної термометрії агресивних середовищ є прогнозування відхилення від НСХП ЧЕ термоперетворювача в залежності від температури, швидкості перебігу процесу та часу дії корозії в певних агресивних середовищах.

Алгоритм реалізації досліджень полягає у виконанні наступних чинностей: 1. Вимірювання базового значення  $R_0$  макету ЧЕ (опір при  $0^\circ\text{C}$ ) для кожного із досліджуваних зразків МАС. 2. Витримка досліджуваних макетів ЧЕ протягом визначеного часу в певних агресивних середовищах, відповідно, різної концентрації і при різних температурах. 3. Після кожного виду випробування - вимірювання значення  $R_0$  кожного із досліджуваних макетів ЧЕ та порівняння його з базовим. 4. Визначення відносної зміни опору макетів ЧЕ за отриманими результатами досліджень. На рисунках 1 та 2 зображені схема вимірювання  $R_0$  та блок-схема устави для дослідження електрофізичних властивостей МАС.

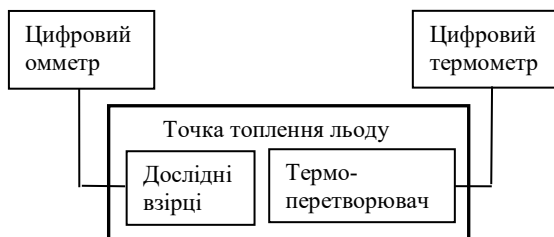


Рис. 1. Схема вимірювання  $R_0$

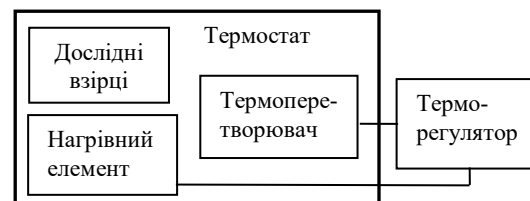


Рис. 2. Блок-схема устави для дослідження електрофізичних властивостей металевих аморфних стопів.

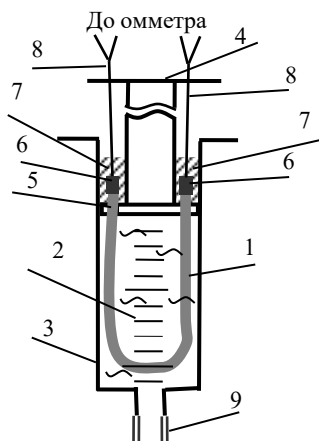


Рис. 3. Схематичне зображення макету ЧЕ: 1 - Досліджувані зразки МАС. 2 - Агресивне середовище. 3 - Контейнер. 4 - Шток. 5 - Поршень. 6 - Місце з'єднання. 7 - Компаунд. 8 - Мідні виводи. 9 - Приєднувальний конус шприца.

концентрації вибраних агресивних середовищ: 0,5М, 1М та 5М. З метою вимірювання електричного опору досліджуваних зразків ЧЕ вибираємо цифровий омметр ОЦ-0103, що призначений для прецизійного вимірювання опору (рис. 1). Для реалізації реперної точки "Точка топлення льоду", в якій виконуються вимірювання електричного опору усіх зразків, використовуємо льодо-водяну суміш та посудину Дюара, а також прецизійний цифровий термометр ТО-Ц024-10, за допомогою якого маємо змогу відстежувати наявність чи відсутність імовірного дрейфу температури реперної точки (рис. 2). За допомогою регулятора - вимірювача РТ-0102 підтримується задана температура в термостаті. Дослідження проводимо за температур: 30°C, 45°C, 55°C, 70°C.

Виконані експериментальні дослідження електрофізичних властивостей МАС дають змогу:

1. Здійснити аналіз отриманих результатів експериментів в залежності від: температурного інтервалу досліджень, типу агресивного середовища, концентрації агресивного середовища.
2. Експериментально визначити стабільність електрофізичних параметрів МАС в залежності від умов експлуатації.
3. Здійснити прогноз метрологічної надійності ЧЕ термоперетворювачів, що працюють в агресивних середовищах в залежності від умов експлуатації.
4. Визначити коефіцієнти корозії для МАС, такі як: а) масовий- характеризує зміну маси зразка матеріалу в результаті корозії,  $K_m^{\pm} = (m_1 - m_2) / (S \cdot \tau)$ , де  $m_1$ ,  $m_2$  - маса матеріалу, відповідно, до та після корозії;  $S$  - площа поверхні матеріалу;  $\tau$  - час дії корозії; б) зміни електричного опору спричиненого дією агресивного середовища протягом певного часу:  $K_R = R_K / R_0$ , де  $R_0$ ,  $R_K$  - відповідно, опір матеріалу до та після корозії (виміряні за температури 0°C), Ом.

Отож, використовуючи результати проведених досліджень, які будуть опубліковані в наступних публікаціях, можна прогнозувати метрологічну надійність термоперетворювача в функції швидкості перебігу процесу корозії та часу його експлуатації в агресивному середовищі, що дає можливість продовжити інтервал між його метрологічними перевірками та підвищити рівень техногенної чи екологічної безпеки при його застосуванні, а також створити прецизійний малоінерційний термоперетворювач для вимірювання температури в агресивних середовищах на основі чутливого елемента з металевих аморфних стопів.

#### Список літературних джерел

1. Маньковська Е. Корозійна стійкість металевих аморфних стопів та метрологічна надійність термоперетворювачів на їх основі / Е. Маньковська, П. Скоропад, А. Семенистий // Вимірюв. техніка та метрологія. - 2010. - Вип. 71. - С. 98-102.

2. Emilia Mankowska. Analiza zmian rezystancji elementów czułych termoprzetworników i metod określania rodzaju ich korozji w środowiskach agresywnych / Emilia Mankowska, Bohdan Stadnyk, Ihor Mykytyn, Pylyp Skoropad // Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej: XIX Międzynarodowe Seminarium Metrologów MSM'2014, Gdańsk – Stockholm, Nr 38.- С. 41-43.

Д.А. Півторак , к.т.н., ст. викладач; С.Л. Лакоза, асистент; О.С. Попов, студент

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ФОТОГРАФІЧНОГО  
ЗОБРАЖЕННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ ВИСОТИ СОНЦЯ ТА ЙОГО АЗИМУТУ**

фотокамера, висота Сонця, азимут Сонця, кутові координати

На рис.1. зображена кінематична схема, яка описує положення Сонця на небесній сфері.

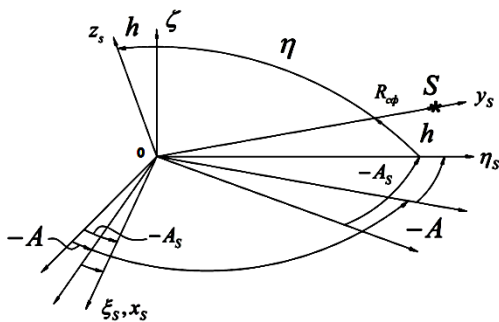


Рис. 1. Кінематична схема.

$\xi\eta\zeta$  – географічна система координат ( $\xi$  направлена на схід,  $\eta$  – на північ,  $\zeta$  – зеніт).  
 $x_s y_s z_s$  – система координат, яка описує положення Сонця відносно спостерігача

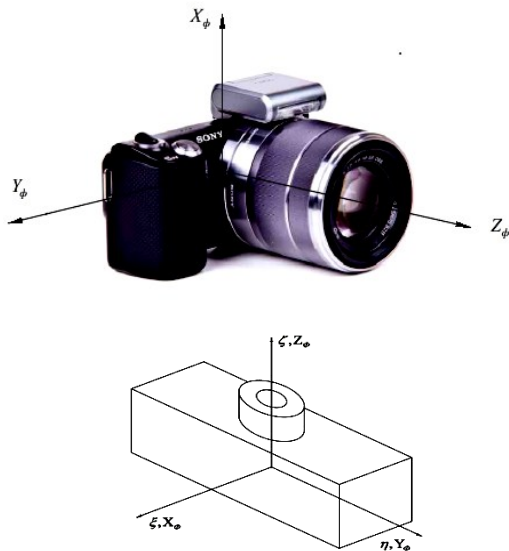


Рис.2. Система координат зв'язана з фотокамерою

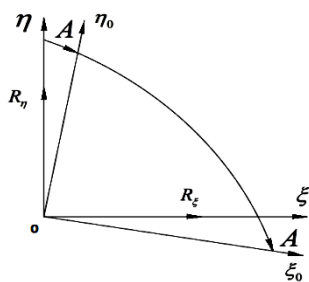


Рис. 3. Орієнтацію осей фотокамери в площині горизонту

Вважається, що зображення небесної сфери – це проекція небесної сфери на площину горизонту. Відповідно, вимірювання переміщення Сонця відносно точки О (цент кадр, спостерігач) проводиться у взаємно перпендикулярних осях  $\eta_0\xi_0$ , які зв'язані з корпусом фотокамери та лежать в площині зображення. Це означає, що можна розрахувати не азимут Сонця  $A$ , а зміну азимута Сонця  $A_s$  відносно азимута фотокамери.

Азимут фотокамери  $A$  – це відхилення вісі  $y_\phi$  від напрямку на північ (див. рис.2).

$$\psi = A_s - A. \quad (1)$$

Можна вважати, що Сонце переміщується по небесній сфері з радіусом  $R_{cf}$  (на фотографічному зображенні цей радіус масштабується відповідно до охопленого об'єму небесної сфери об'єктивом).

Положення Сонця визначається радіусом-вектором  $OS$ , модуль якого дорівнює радіусу сфери  $R_s$ .  $OS$  лежить вдовж осі  $y_\phi$ , а кутова орієнтація осі  $y_\phi$  визначається кутами  $A_s$  і  $\eta$ .

Проекції  $OS$  в географічній системі координат:

$$\begin{cases} R_\xi = R \cdot \sin A_s \cdot \sin \eta \\ R_\eta = R \cdot \cos A_s \cdot \sin \eta. \\ R_\zeta = R \cdot \cos \eta \end{cases} \quad (2)$$

Маючи проекції радіус-вектора в географічній системі координат можна визначити азимут Сонця  $A_s$  і зенітний кут  $\eta$  ( $\eta = 90^\circ - h$ ).

$$A_s = \arctg R_\xi / R_\eta;$$

$$\eta = \arctg \frac{\sqrt{R_\eta^2 + R_\xi^2}}{R_\zeta} = \arccos \frac{R_\zeta}{R}. \quad (3)$$

На рис. 3 представлена кінематична схема, в якій враховано те, що вісь фотокамери  $y_\phi$  може бути виставлена не на північ. А на рис. 4 представлена кінематична схема, яка показує положення Сонця в площині горизонту відносно осей фотокамери, де  $R_{\eta_c}$  – проекція вектора  $OS$  на площину горизонту,  $A$  – кут повороту об'єкту в

азимуті.

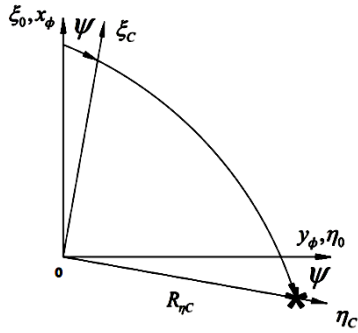


Рис. 4. Кінематична схема, яка описує положення Сонця в площині зображення

У випадку, коли площина зображення фотокамери розміщена в площині горизонту, то доступні для вимірювання дві з вище описаних складових  $R_{\xi_0}, R_{\eta_0}$ . Вимірявши ці проекції, можна розрахувати азимут Сонця використовуючи наступні формули:

$$\psi = -\arctg R_{\xi_0} / R_{\eta_0}, \quad A_s = \psi + A \quad (6)$$

Знаючи складову  $R_{\eta_s}$  ( $R_{\eta_s} = \sqrt{R_{\xi_0}^2 + R_{\eta_0}^2}$ ), можна розрахувати зенітний кут за формулою:  $\eta = \arcsin R_{\eta_s} / R$  (7)

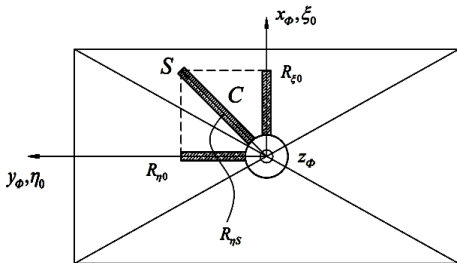


Рис. 6. Графічна ілюстрація способу визначення проекцій Сонця в площині зображення фотокамери

об'єктиву.

Через те, що камера обрізає зображення по прямокутнику, то визначення  $r_{об}$  треба прив'язувати до отриманого зображення. Будемо вважати, що коло яке обмежує проекцію небесної сфери на площину зображення, описане навколо прямокутної матриці, із сигналів якої формується вихідне зображення. Отже,  $r_{об}$  можна визначити із зображення як половину діагоналі цього прямокутника.

Знаючи  $r_{об}$ , виміряні проекції  $R_{\eta_s}, R_{\xi_0}, R_{\eta_0}$  і кут  $2\omega$  можна розрахувати необхідні сферичні координати Сонця ( $\eta$  та  $A_s$ ):

$$\eta = \arcsin R_{\eta_s} / R = \arcsin R_{\eta_s} / r_{об} \sin \omega. \quad (9)$$

Визначення координат Сонця можливе і в умовах, коли площина зображення фотокамери відхилена від площини горизонту. Відхилення площини зображення фотокамери задається двома кутами  $\vartheta$  та  $\gamma$ . У площині зображення ми можемо оцінити тільки дві проекції радіус-вектора, що описує положення Сонця:  $R_{y\phi}$  та  $R_{x\phi}$ . Для розрахунку кутових координат потрібно знати складові проекцій в осях  $\xi_0 \eta_0 \zeta_0$ . Тобто потрібно виконати перетворення координат:

$$\begin{bmatrix} R_{\xi_0} \\ R_{\eta_0} \\ R_{\zeta_0} \end{bmatrix}^T = C^{-1}_{\vartheta\gamma} \begin{bmatrix} R_{x\phi} \\ R_{y\phi} \\ R_{z\phi} \end{bmatrix}^T \cdot R_{z\phi} = \sqrt{R_{небесної\ сфери}^2 - R_{x\phi}^2 - R_{y\phi}^2} \quad (10)$$

Тоді можна отримати всі необхідні складові, які використовувалися в попередньому алгоритмі.

Значення проекцій  $R_{\xi}, R_{\eta}, R_{\zeta}$  у зв'язаній з фотокамерою системі координат:

$$\begin{cases} R_{\xi_0} = R_{\xi} \cdot \cos A - R_{\eta} \cdot \sin A \\ R_{\eta_0} = R_{\xi} \cdot \sin A + R_{\eta} \cdot \cos A \\ R_{\zeta} = R_{\zeta_0} \end{cases} \quad (4)$$

Остаточно отримуємо вирази, які описують проекції вектора  $OS$  на вісі зв'язаної з фотокамерою системи координат:

$$\begin{cases} R_{\xi_0} = R \cdot \sin \eta \cdot \sin [A_s - A]; \\ R_{\eta_0} = R \cdot \sin \eta \cdot \cos [A_s - A]; \quad R_{\zeta_0} = R_{\zeta} = R \cdot \cos \eta. \end{cases} \quad (5)$$



Рис. 5. Система координат зв'язана з фотокамерою в площині горизонту

Визначення проекцій Сонця на зображенні показано на рис.6.

Об'єktiv здатен охопити об'єм небесної сфери, котрий обмежений кутом поля зору об'єктиву (конусом з кутом розхилу  $2\omega$ ). Радіус найбільшого альмукантарату, який може захватити об'єktiv пов'язаний з його полем зору і радіусом небесної сфери описується формулою:

$$r_{об} = R \cdot \sin \omega, \quad (8)$$

де  $R$  – радіус небесної сфери (еквівалент);  $r_{об}$  – частина небесної сфери, яку захоплює об'єкт;  $2\omega$  – кут поля зору

**О.П.Чабан, к.т.н.; О.В.Бойко, к.т.н., доц.**

## **ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕОРІЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ У МЕДИЧНИХ СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

**Ключові слова:** невизначеність вимірювань, системи підтримки прийняття рішень, медичні інформаційні системи

Сьогодні в Україні спостерігається широке застосування медичних інформаційних систем у приватних клініках та швидке впровадження їх у державних медичних закладах, що надає змогу значно підвищити якість надання медичних послуг - від простоти зберігання і швидкого доступу до медичної інформації, моніторингу стану пацієнта до комп'ютерної підтримки прийняття рішень при діагностиці і ефективного планування терапії.

Встановлення медичного діагнозу - це вкрай складна процедура, оскільки під час огляду і опитування пацієнта лікар має справу з різноманітними видами інформації, які часто описуються якісними характеристиками, з різним ступенем визначеності [1]. Результати первинного обстеження, як правило, сформульовані лінгвістично. Результати лабораторних випробувань порівнюють з їх нормованими значеннями, а отримані величини визначаються з певною точністю вимірювання. Інші діагностичні елементи (наприклад, медичні зображення, параметри електричних сигналів), також вимагають інтерпретації [3]. Іноді такі дослідження не виконуються, наприклад, через стан хворого, а діагноз встановлюється при відсутності доказів. Залежність між симптомами і хворобами, як правило, нестабільна. Окрім того, одні і ті ж симптоми можуть виникати при різних захворюваннях і одне захворювання може мати різні прояви. Звичайно, симптоми і хвороби пов'язані певними кореляційними залежностями, зокрема частотою виникнення [2]. Частота виникнення або переконаність у тому, що симптом має відношення до захворювання може бути виражена кількісно з врахуванням складових неточності і невизначеності. Однак, багато дослідників не розрізняють ці два поняття.

Сучасний підхід світової науки до оцінювання точності результатів вимірювання враховує концепції положення невизначеності результатів, згідно з якою поняття «істинного значення», на відміну від теорії похибок, не беруть до уваги, а оперують вхідними величинами та результатами вимірювання, як випадковими величинами [4]. Оцінювання результатів вимірювань в рамках даної концепції базується на класичній теорії ймовірностей та математичній статистиці. Концепція невизначеності носить загальний та універсальний характер і використовується не лише в метрології. Алгоритм оцінювання точності результатів викладений як в нормативних документах так і в наукових дослідженнях.

Впровадження концепції положення невизначеності результатів при розробці медичних систем підтримки прийняття рішень і застосування їх в діагностичних процесах дозволить підвищити якість медичних послуг, а також може вважатися повноцінною і достатньою основою забезпечення гарантованої якості роботи медичних працівників.

### **Список літературних джерел**

1. Гнатівська Ю. О. Розробка медичних діагностичних систем реального часу [Текст] / Ю. О. Гнатівська // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили]. Сер.: Комп'ютерні технології. - 2008. - Т. 90, Вип. 77. - С. 130-136.
2. Евстафьева В. В. Математическое моделирование динамики эпидемического процесса [Текст] / Математическое моделирование и дифференциальные уравнения. - Минск: Институт математики НАН Беларуси, 2009. - Часть I. - С. 37-39.
3. Колесникова С. И. Методы анализа информативности разнотипных признаков / С. И. Колесникова // Вестник Томского государственного университета. - Томск, 2009. - № 1 (6). - С. 69-80. Россия.
4. Дорожовець, М. М. Оптимальне врахування непевності вимірювань вхідної та вихідної величин у лінійній регресії / М. М. Дорожовець // Автоматика, вимірювання та керування. - Л.: Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", 2008. - С. 42-48.

**В. М. Севастьянов, к.т.н., доц.; С. В. Зачиняєва**

## **СЕРТИФІКАЦІЯ ПЕРСОНАЛУ В ГАЛУЗІ ГОТЕЛЬНОГО БІЗНЕСУ**

*Ключові слова:* стандарт, персонал, сертифікація, обслуговування.

На сучасному етапі якість обслуговування на підприємствах індустрії гостинності України є об'єктом вивчення й аналізу, планування та управління як на рівні підприємства, так і на державному та міжрегіональному рівнях. Одним з основних методів державного контролю якості послуг є їх стандартизація та сертифікація. Остання являє собою систему заходів, які засвідчують і документально підтверджують відповідність послуг встановленим стандартам. Метою даної роботи є комплексне вивчення всіх аспектів забезпечення якості обслуговування в управлінні сучасними готельними комплексами шляхом сертифікації персоналу.

Стандарт обслуговування — це комплекс обов'язкових щодо виконання правил обслуговування клієнтів, які повинні гарантувати встановлений рівень якості всіх операцій. Стандарт обслуговування визначає формальні критерії, за якими оцінюється якісний рівень обслуговування клієнтів та діяльності будь-якого співробітника. Одним з яскравих прикладів міжнародних стандартів технічної якості обслуговування є стандартизація готельного сервісу: готелі ранжируються за кількістю зірок (балів, корон), що визначають рівень обслуговування. Якість готельних послуг повинна відповідати встановленим стандартам. Форма і зміст стандартів є критерієм якісного обслуговування. Критерій оцінки якості готельних послуг для клієнта - це ступінь його задоволення, тобто відповідність отриманого і очікуваного. Критерієм задоволення клієнта - є бажання повторно відвідати і порекомендувати готель і залучити у готель більше клієнтів серед знайомих і родичів.

Основним документом, що визначає взаємовідносини між адміністрацією, персоналом готельного підприємства і споживачами є "Правила надання готельних послуг", розроблені у відповідності до закону України "Про захист прав споживачів". Згідно правил надання готельних послуг, якість послуг повинна відповідати умовам договору, якщо договір відсутній або недостатньо обґрунтований, вимогам, що висуваються до цього виду послуг[2].

Аналіз систем класифікації готелів України дозволяє віднести їх до європейського «кількісного типу». Обрання такого типу класифікації, з одного боку, спрощує процедуру визначення класу готелю, полегшує уніфікацію вимог до готелів у європейському масштабі, а з іншого боку — обмежує можливості щодо якісної диференціації послуг готелів, чіткого визначення рівня їх комфорту. Крім того, сучасні світові системи класифікації враховують екологічні вимоги, питання безпеки клієнтів, інтереси споживачів з точки зору досягнення мети їхньої подорожі тощо.

При розробці вимог до вітчизняних готелів різних категорій враховано рекомендації регіональної європейської системи класифікації. Оціночні показники системи вимог до вітчизняних підприємств розміщення враховують сучасні вимоги до споруди готелю, його технічного обладнання, наявності зручностей для гостя в номері, а також до приміщень загального користування, громадського харчування, асортименту побутових та інших послуг. Але більшість вимог оцінюється за кількісними показниками: площа приміщень, розміри та кількість необхідних меблів, перелік обладнання, інвентарю, забезпечення предметами санітарно-гігієнічного призначення, відсоткове співвідношення типів номерів, а відповідність матеріальної бази та функціональної якості послуг готелю до вимог певної категорії фіксується оцінкою «відповідає» чи «не відповідає» показник вимогам нормативної документації. Наприклад, важко оцінити однозначно «здатність персоналу до створення в готелі атмосфери гостинності» та «виявлення доброзичливості щодо клієнтів» або «наявність умов для приймання й обслуговування інвалідів, що використовують крісла на колесах», «відповідність показників мікроклімату в приміщеннях для обслуговування туристів установленим санітарно-гігієнічним вимогам», «ступінь зручності під'їзних шляхів» та «упорядкованості території готелю» тощо[1].

Важливою складовою корпоративної культури є система Загального управління якістю (TQM - Total Quality Management), зорієнтована на задоволення попиту клієнтів.

Головні вимоги якісного обслуговування щодо персоналу у готельних підприємствах:  
- ввічливість - персонал повинен бути люб'язним, привітним, уважним у стосунках з клієнтами;



- компетентність - незалежно від посадових обов'язків персонал повинен володіти необхідними знаннями і навиками здобутими в процесі професійного навчання і стажування;
- комунікабельність - швидка реакція персоналу і виконання у найкоротші терміни побажань клієнтів;
- розуміння темпераменту клієнта - обслуговуючий персонал готелів повинен розуміти особливості психології кожного клієнта;
- готельні підприємства та готельні послуги повинні бути безпечними для життя та здоров'я клієнта, комфортними, персонал повинен користуватись довірою клієнта;
- доступність - готельні послуги повинні бути доступними в потрібний час і потрібному місці в необхідному обсязі.

Одним з найбільш популярних і актуальних способів оцінювання рівня знань, вмінь і навичок працівників є сертифікація. Сертифікація персоналу – це процедура встановлення відповідності якісних характеристик персоналу до вимог вітчизняних та / або міжнародних стандартів; призначена оцінити рівень професіоналізму фахівця відповідно до зовнішніх професійних стандартів, тобто розроблених поза конкретною організацією. Однією з основних умов забезпечення ефективного функціонування процедури сертифікації персоналу є використання системного підходу під час її формування, адже сертифікація персоналу – це багатoelementна та мультирівнева система. Основними елементами системи сертифікації персоналу є суб'єкт оцінювання, об'єкт оцінювання, предмет оцінювання, методи оцінювання, процедура оцінювання.

Сертифікація персоналу необхідна для встановлення відповідності фахівців у тій або іншій галузі діяльності вимогам, що ставляться до їхньої роботи. Сертифікація не замінює базову освіту і не ставить її під сумнів. Інтенсивний розвиток промисловості і послуг з кожним роком вимагає від фахівців нових вимог до рівня знань техніки, програмного забезпечення, нормативних документів. Отже, з'являється необхідність у їхній періодичній атестації на відповідність прийнятим сьогодні критеріям.

Які цілі сертифікації персоналу в галузі готельного бізнесу? Це, насамперед:

- створення умов для роботи готелю;
- захист споживача від недобросовісного виконавця, що використовує під час надання послуг трудові ресурси, які мають рівень професійної підготовки і кваліфікації, що не відповідає заявленій якості послуги, яка надається;
- сприяння готелям у компетентному виборі персоналу на ринку праці;
- підтвердження можливостей готелю для забезпечення заявлених показників якості наявним персоналом;
- забезпечення безпеки довілля, життя, здоров'я і майна, зумовленої компетентністю посадовців і окремих категорій персоналу.

Характеризуючи структуру готелів України за категоріями, слід зазначити, що найменше в країні 1-зіркових та 5-зіркових готелів - на них припадає відповідно 3,6% та 9%, третє місце посідають 2-зіркові готелі – 15,6%, на 3-зіркові та 4-зіркові припадає 36,5% і 35,3% відповідно [3].

В своєму становленні готельний ринок Вінницької області зіткнувся з низкою проблем. Однією з них є слабкість внутрішньої конкуренції (що пояснюється відсутністю вільних засобів і високими податковими ставками, через що складно забезпечити економічну стабільність, максимізувати прибутки, підвищити конкурентоспроможність підприємств індустрії гостинності на ринку готельних послуг) і відсутність могутніх міжнародних готельних мереж.

### Список літературних джерел

1. Мальська М.П., Худо В.В., Цибух В.І. Основи туристичного бізнесу: Навчальний посібник. – К.: ЦУЛ, 2004. – 272 с.
2. Виноградська А. Стратегія готельного бізнесу в Україні // Діловий вісник. - 1999. - № 11. - С. 24-25
3. Реєстр свідоцтв про встановлення категорій готелям ; Офіційний веб-сайт Міністерства економічного розвитку і торгівлі України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.me.gov.ua/Documents/List?lang=uk-UA&id=7f89dba2-0fdc-40e6-b870-13e1063d3a&tag=RestrSvidotstvProVstanovlenniaKategorii>

**В.М.Ванько, д.т.н., проф.; О.М.Приходько, аспірант**  
**ЙМОВІРНІСНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ**  
**З ВИКОРИСТАННЯМ FMEA-АНАЛІЗУ**

*FMEA-аналіз, відмови, ентропія, інтегральна оцінка, управлінська дія, ризику, технологічний процес*

Одним із найефективніших методів аналізу потенційних відмов та ризиків у світі на сьогоднішній день є FMEA-аналіз. FMEA-аналіз - це системна методика проведення аналізу ризику відмов, що призначена для визначення потенційних видів відмов продуктів і процесів, оцінки ризику, пов'язаного з цими видами відмов [1], що незмінно впливають на підвищення якості продукції.

Зростання якості продукції пов'язане, перш за все з ефективністю застосування систем управління процесами, при порушенні якої систем гостро постає питання про необхідність управлінської дії на технологічні процеси. Одним з найефективніший, на сьогоднішній день, методом оцінки якості за допомогою інтегральної оцінки у вигляді ентропії.

Ентропія – це міра невизначеності стану системи, що обчислюється за формулою:

$$H(x) = -\sum_{i=1}^n p_i(x) \log p_i(x), \quad (1)$$

де  $p(x) = \sum_{i=1}^n p_i(x) = 1$ , адже ентропія має два нульових значення при  $p(x)=0$  (неможлива подія) та при  $p(x)=1$  (можлива подія), а також екстремум у вигляді максимуму, положення якого визначається кількісним показником стану системи, а також – основою логарифма з виразу (1) [2].

На рисунку 1.1 наведено максимальне значення ентропії для різних рівновірогідних станів системи та різних основ логарифму.

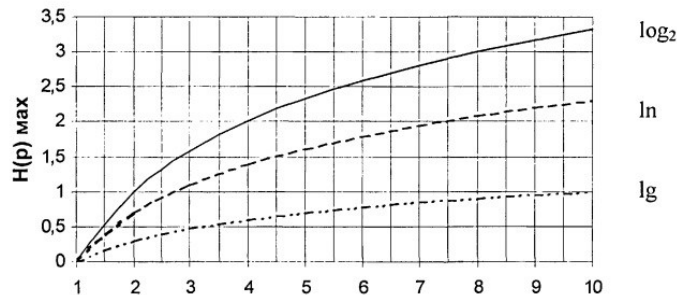


Рисунок 1.1 - Максимальне значення ентропії для різних рівно вірогідних станів системи та основ логарифму

Таким чином, аналізуючи рисунок 1.1, можна зробити висновок, що для будь-якої системи існує максимальне значення ентропії, яку доцільно взяти за точку відліку при оцінці рівня якості продукції, враховуючи відмови та їх причини, що визначаються за допомогою інструментів FMEA-аналізу.

1. *FMEA-аналіз видів и последствий потенциальных отказов / Крайслер Корп., Форд Мотор Компани, Дженерал Моторс Корп. Руководство 4-е издание.*
2. *Анализ видов, последствий и причин потенциальных несоответствий (FMEA). Вайуков Ю.А., Дмитриев А.Я., Митрошкина Т.А. Метод.указания / Самарский государственный аэрокосмический университет, 2008. – 31 с.*

**О. М. Васілевський, д.т.н., В. М. Дідич, к.т.н., І. І. Андрікевич, к.м.н.**

## **ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МІЖНАРОДНОГО СТАНДАРТУ ISO 9001:2015 ЩОДО МЕДИЧНИХ ЛАБОРАТОРІЙ**

Ключові слова: міжнародний стандарт, медична лабораторія, стандартизація, імплементація, система якості

Якість медичних послуг, особливо якщо це стосується визначення стану здоров'я людини на основі лабораторних досліджень завжди є актуальною проблемою. Стандартизація роботи медичних закладів забезпечує єдність у підході до аналізу діагностичних і дослідних даних.

Стандарти серії ISO 9001 широко використовуються в промисловості, але вони є достатньо новими в медицині, тому не існує «єдиного підходу» щодо вимог для медичних лабораторій. Крім того вони стандартизують технологію глобально, що призводить до виникнення деяких непорозумінь в медичній сфері [1, 2, 3].

Крім стандартів серії ISO 9001 існують інші міжнародні стандарти, зокрема ISO 151189. Він орієнтований безпосередньо на діяльність медичних лабораторій і може бути застосованим в якості першого випробування для медичних лабораторій або другим варіантом, наприклад, після сертифікації за стандартом ISO 9001. Однак більша вартість послуг консультантів і збільшення вартості обслуговування порівняно з підходом у ISO 9001, є однією з причин, через які більшість світових медичних лабораторій надають перевагу саме ISO 9001 [1, 2].

При дотриманні міжнародних стандартів медичні лабораторії повинні встановити єдність мети і напрямку, тоді дослідники, медичні спеціалісти, використовуючи доступні їм засоби досліджень будуть сприяти досягненню очікуваних результатів – таких, що задовільнять потреби клієнтів. Важливу роль при цьому відіграє керівництво компанії, яке забезпечує якісне адміністрування, планування потрібних проектів та визначає потребу у людських ресурсах для досягнення поставленої мети. Існує необхідність у періодичному проведенні внутрішніх ревізій, виконанні випралення розбіжностей та верифікації досягнень відповідної якості результатів та послуг.

Перехід медичних лабораторій на роботу за стандартом ISO 9001 є неоднозначним і не таким простим, як здається на перший погляд. Є ряд недоліків, до яких можна віднести те, що ISO 9001 має загальний характер і не орієнтований однозначно на медичну лабораторію та загальними є технічні умови безпеки та специфікації роботи.

Однак існує багато переваг, які вказують на необхідність переходу на стандартів серії ISO 9001. Зокрема, забезпечується зосередження уваги на задоволенні потреб клієнтів та інших зацікавлених сторін, здійснюється підготовка і оцінка компетентності персоналу, що має велике значення для управління та лабораторної практики. Постійно здійснюється моніторинг засобів дослідження, від яких залежить правильність і непевність отриманих результатів та ідентифікується і відслідковується інформація про різні етапи лабораторного процесу [4]. Під час оцінки адекватності результатів випробувань використовуються поняття істинності, непевності та загальної помилки, що оснований на аналізі ризиків мислення на основі яких приймаються рішення, включаючи й технічні.

Створення єдиного медичного простору за рахунок впровадження стандартів ISO 9001 покращить якість досліджень в медичних лабораторіях, а це в свою чергу позитивно впливатиме на об'єктивність даних про стан здоров'я кожного пацієнта.

### **Список використаних джерел**

1. International Organization for Standardization (2015). *ISO 9000 Quality management systems - Fundamentals and vocabulary. 3rd ed.* Geneva: ISO.
2. International Organization for Standardization (2015). *ISO 9001 Quality management systems - Requirements. 5th ed.* Geneva: ISO.
3. Васілевський О. М., Поджаренко В. О. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення: [навчальний посібник]. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 214 с. - ISBN 978-966-641-348-5.
4. Васілевський О. М., Кучерук В.Ю., Володарський Є. Т. Основи теорії невизначеності вимірювань : підручник. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 230 с. - ISBN 978-966-641-632-5.

**О. Ярмолюк, аспірант, Н. Є. Гоц д.т.н., проф.**

## **КВАЛІМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ БАНКІВСЬКИХ ПОСЛУГ ЗАЦІКАВЛЕНИМИ СУБ'ЄКТАМИ**

Ключові слова: послуга, якість послуг, метод оцінювання якості послуг, показники якості банківських послуг

Поліпшення якості банківських послуг потребує розвитку методів оцінювання їх якості, цілями яких є

- визначення конкурентоспроможності банку або його відділень;
- визначення резервів для покращення обслуговування;
- впровадження передових практик;
- оцінювання якості надання послуг з точки зору споживача;
- визначення рейтингу серед декількох банків або відділень банків;
- попереднє оцінювання для залучення кредитів, інвестицій та ін.

Для оцінювання якості продукції доцільним є застосування методів кількісного оцінювання її властивостей, а саме методів кваліметрії, завдання якої є обґрунтування вибору показників якості, методів їх оцінювання та розроблення методів визначення оптимальних значень цих показників.

Аналіз результатів вимірювання якості послуг і задоволеності клієнтів дозволяє концентрувати увагу на конкретних проблемах, розвивати методи покращення якості та в результаті підвищувати рівень обслуговування.

Тому нашою метою є розроблення методу оцінювання якості банківських послуг, який максимально враховуватиме вплив різних чинників на якість наданих банком послуг та базуватиметься на наукових засадах кваліметрії.

Оцінювання якості банківських послуг з точки зору різних зацікавлених суб'єктів, які має різну мету оцінювання, а саме:

- для клієнтів банку: отримання послуги з бажаними характеристиками, прийнятною якістю обслуговування та допустимим для них ризиком;
- для акціонерів та інвесторів банку: оцінювання стійкості і темпів зростання ринкової вартості бізнесу;
- для менеджменту банку: оцінювання довгострокової конкурентоспроможності та і стабільності розвитку банку;
- для органів державного нагляду: контроль дотримання інтересів держави та суспільства.

Якість банківських послуг залежить від багатьох чинників, сукупна дія яких по-різному впливає на наслідок. Складне поєднання таких впливних факторів приводить до різних результатів оцінювання якості. Тому існує необхідність дослідження залежності однієї залежної змінної  $Y$  від декількох впливаючих на результат змінних  $X_1, \dots, X_n$ . Це завдання розв'язується на основі множинного регресійного аналізу, який дозволяє дослідити вплив різних факторів на результат. На основі побудови та аналізування багатопараметричної лінійної регресійної моделі, яка дозволяє визначати відокремлений та спільний вплив різних факторів на результативну ознаку та провести кількісне оцінювання цього впливу шляхом використання відповідних критеріїв. Регресійний аналіз проводиться шляхом побудови рівняння регресії і визначення внеску кожної незалежної змінної у варіацію досліджуваної залежної змінної величини, його основним завданням є визначення впливу факторів на результативний показник.

Формування системи багатфакторних лінійних регресійних моделей, які включають обрані показники якості банківських послуг в залежності від суб'єктів оцінювання проводиться таким чином. З врахуванням того, що якість банківських послуг може бути оціненою з точки зору різних суб'єктів, які мають різну мету оцінювання, а саме клієнтів банку, акціонерів банку, керівництва банку та органів державної влади, пропонуємо метод оцінювання якості математично подати у вигляді системи рівнянь лінійної багатопараметричної регресії, яка показує вплив окремих

чинників на результуючу якість послуг. Кожне з рівнянь системи показує залежність якості банківських послуг від ряду показників якості з врахуванням їх вагомості з точки зору кожного з вищерозглянутих суб'єктів оцінювання якості банківських послуг.

$$\begin{cases} Y_1 = b_{10} + b_{11}x_{11} + b_{12}x_{12} + \dots + b_{1n}x_{1n} \\ Y_2 = b_{20} + b_{21}x_{21} + b_{22}x_{22} + \dots + b_{2n}x_{2n} \\ Y_3 = b_{30} + b_{31}x_{31} + b_{32}x_{32} + \dots + b_{3n}x_{3n} \\ Y_4 = b_{40} + b_{41}x_{41} + b_{42}x_{42} + \dots + b_{4n}x_{4n} \end{cases}, \quad (1)$$

де  $x_{mn}$  - значення показників якості;

$b_{mn}$  - значення показників вагомості;

$m$  - кількість суб'єктів оцінювання якості

$n$  - кількість показників якості;

$Y_1$  - результат оцінювання якості клієнтами банку;

$Y_2$  - результат оцінювання якості акціонерами банку;

$Y_3$  - результат оцінювання якості керівництвом банку;

$Y_4$  - результат оцінювання якості органами державної влади.

Етапи запропонованого нами методу оцінювання якості банківських послуг на основі побудови системи рівнянь багатофакторної регресійної моделі, яка формується на основі інформації всіх зацікавлених суб'єктів оцінювання, а саме клієнтів банку, акціонерів банку, керівництва банку та органів державної влади:

1. Провести вибір факторів, а саме показників якості, які впливають на якість банківських послуг в залежності від вищерозглянутих суб'єктів оцінювання.
2. Провести кореляційний аналіз обраних показників якості банківських послуг для оцінювання щільності кореляційного зв'язку між ними.
3. Провести вибір методу побудови системи рівнянь регресійних моделей та оцінити невідомі параметри регресійних моделей.
4. Перевірити розроблені моделі на адекватність.
5. Перевірити коефіцієнти розроблених моделей на значимість.
6. Розрахувати та побудувати інтервали довіри.

Провести аналізування отриманих результатів та сформувані рекомендації по покращенню якості банківських послуг.

#### Література:

1. Латыпова Л.В. Современные методы оценки системы менеджмента качества / Л.В. Латыпова // Экономика и предпринимательство. – 2015.-№6 (ч.3). – с.-845.
2. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия (Applied Regression Analysis). / Н. Дрейпер, Г. Смит. - М. : «Диалектика», 2007. — С. 912.

**В.С. Маньковська, к.т.н.; Т.А. Коваль, студент; А.А. Кашканова, студент**  
**ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ РОЗЧИННОЇ КАВИ**

**Ключові слова:** фізико-хімічні показники, розчинна кави, якість.

На сучасному етапі розвитку на споживчому ринку представлено три основні види кави натуральної розчинної залежно від технології виробництва: кави порошкоподібна, гранульована та сублімована.

На українському ринку розчинної кави представлено велике розмаїття торговельних марок кави, але не всі виробники забезпечують належну якість кавової продукції. Проблема фальсифікації кави і способів її виявлення є однією з вагомих. Все це ставить споживача перед вибором, якій торговій марці кави і від якого постачальника віддати перевагу, тому актуальним є дослідження якості розчинної кави, яка реалізується на українському ринку.

Об'єктом дослідження обрано чотири зразки натуральної розчинної кави: «Nescafe Gold», «Jacobs Monarch», «Tchibo», «Café Pele».

Мета дослідження: визначити якість натуральної розчинної кави різних виробників за фізико-хімічними показниками.

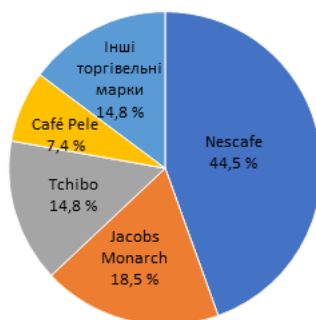


Рисунок 1 – Найбільш популярні марки розчинної кави, що обрали споживачі України

З фізико-хімічних показників в каві натуральній розчинній визначають: масову частку вологи, %; масову частку золи, в розрахунку на суху масу, %; рН (напою); повну розчинність в холодній і гарячій воді.

Результати досліджень зразків за цими показниками наведені в таблиці.

Таблиця 1 – Дослідження фізико-хімічних показників розчинної кави

Найменування зразку	Масова частка вологи, %	Масова частка золи, %	рН (напою)	Повна розчинність (у воді при температурі, хв.)	
				Гарячий 96-98 °С	холодний 18-20 °С
ДСТУ 4394:2005	не більше 6,0	не менше 6,0	не менше 4,7	0,5	3,0
Nescafe Gold	4,0	7,7	4,7	0,2	3,0
Jacobs Monarch	4,5	8,0	4,7	0,15	2,2
Tchibo Exclusive	3,0	12,0	4,8	0,3	2,5
Café Pele	4,0	8,0	4,7	0,3	2,5

**Висновки.** Експертизою встановлено, що кави розчинна різних марок за фізико-хімічними показниками відповідає вимогам стандарту ДСТУ 4394:2005. Так, масова частка вологи коливається в межах 3-4,5 %; масова частка золи – 8,0-12,0 % (не менше 6,0 %); рН напою – 4,7-4,8 (не менше 4,7); повна розчинність в гарячій воді (96-98 °С) – 0,15-0,3 хв. (0,5 хв.); повна розчинність у холодній воді (18-20 °С) – 2,2-3,0 хв. (3,0 хв.).

**Список літературних джерел:**

Кави натуральна розчинна. Загальні технічні умови: ДСТУ 4394:2005. [Чинний від 2006-01-01]. – К: Держстандарт України. – 26 с.

## **СЕКЦІЯ 2 (SECTION 2)**

**Первинні вимірювальні перетворювачі та сенсори.  
Прилади та методи контролю речовин, матеріалів  
та виробів**

**О.В. Вовна, д.т.н., доц.; А.А. Зорі, д.т.н., проф.;  
І.С.Лактіонов, к.т.н.; Р.Н.Ахмедов, аспірант**

## **УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ КОМПЕНСАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНОГО ДРЕЙФУ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ОПТИЧНОГО ВИМІРЮВАЧА КОНЦЕНТРАЦІЇ МЕТАНУ**

Ключові слова: концентрація, метан, температура, дрейф, вихідний сигнал, компенсація, похибка.

**Актуальність досліджень.** Для своєчасної ідентифікації залпових викидів метану в рудничній атмосфері вугільних шахт необхідно забезпечити швидкодію вимірювачів концентрації метану менш ніж 0,8 с [1] з величиною основної похибки не більше  $\pm 0,2^{06.}\%$  у діапазоні від 0 до  $4^{06.}\%$  [1]. Одним із швидкодіючих методів вимірювання вибухонебезпечних залпових викидів метану є оптико-абсорбційний. Проте значення вихідного сигналу оптичного вимірювача суттєво залежить від зміни температури. У відповідності до ДСТУ [1] у регламентованому діапазоні температур від  $+5$  до  $+35^\circ\text{C}$  [1] додаткова похибка вимірювання концентрації метану від зміни температури не повинна перевищувати основну похибку.

На основі аналізу проведених досліджень розроблених і створених зразків оптичного вимірювача концентрації метану виявлено, що чутливість вихідного сигналу напруги вимірювача від зміни концентрації метану в діапазоні від 0 до  $5^{06.}\%$  становить від  $-23,52 \cdot 10^{-3}$  до  $-27,55 \cdot 10^{-3} \text{ В}/^{06.}\%$ . При цьому, чутливість вихідного сигналу напруги вимірювача при зміні температури від  $+5$  до  $+35^\circ\text{C}$  або  $(20 \pm 15)^\circ\text{C}$  складає від  $-39,72 \cdot 10^{-3}$  до  $-48,83 \cdot 10^{-3} \text{ В}/^\circ\text{C}$ . Додаткова похибка вимірювання концентрації метану при зміні температури в діапазонах від  $+5$  до  $+20^\circ\text{C}$  та від  $+20$  до  $+35^\circ\text{C}$  становить від 21,6 до  $31,1^{06.}\%$ , що в  $(108,1 - 155,7)$  разів більш ніж основна похибка вимірювання. Тому розробка способів і засобів компенсації температурного дрейфу вихідного сигналу оптичних вимірювачів концентрації метану є актуальною задачею.

**Постановка завдань дослідження.** Метою роботи є підвищення точності вимірювання концентрації метану завдяки зменшенню величини додаткової похибки вимірювання від зміни температури, що дозволить у режимі реального часу ідентифікувати залпові викиди метану в рудничній атмосфері вугільних шахтах. Для досягнення мети поставлені та вирішені такі завдання:

- удосконалити розроблений спосіб компенсації температурного дрейфу вихідного сигналу оптичного вимірювача концентрації метану, що дозволить розширити робочий температурний діапазон до  $+45^\circ\text{C}$  зі збереженням регламентованих метрологічних характеристик;
- реалізувати удосконалений спосіб компенсації у вимірювачі з використанням програмних і апаратних компонент, що дозволить оцінити метрологічні характеристики розробленого вимірювача та ефективність його роботи.

**Результати розробки та досліджень.** Принцип роботи розробленого вимірювача базується на поглинанні оптичного випромінювання від світловипромінюючого діоду (LED) в оптичному каналі (OC) та описується законом Бугера-Ламберта-Бера [2], який пов'язує зміну інтенсивності поглинання ( $\Delta I_{OUT\ OC}$ ) з концентрацією метану ( $C_{CH_4}$ ):

$$\Delta I_{OUT\ OC}(C_{CH_4}) = \Delta I_{IN\ OC} \cdot e^{-k_{CH_4} \cdot C_{CH_4}}, \quad (1)$$

де  $\Delta I_{IN\ OC}$  та  $\Delta I_{OUT\ OC}$ , Вт/срад – зміна інтенсивності вхідного та вихідного потоків оптичного випромінювання в OC;  $C_{CH_4}$ ,  $^{06.}\%$  – об'ємна концентрація метану в OC;  $k_{CH_4}$ ,  $1/^{06.}\%$  – чутливість вихідного сигналу вимірювача до зміни  $C_{CH_4}$ .

Оптичний сигнал  $\Delta I_{IN\ OC}$  формується LED типу lms34LED [3] з довжиною хвилі 3,4 мкм, що відповідає максимальній інтенсивності спектральних ліній поглинання метану. Оптичний сигнал від LED проходить крізь OC та фокусується на фотодіоді (PD). PD перетворює оптичний потік, який має у своєму складі інформацію щодо зміни  $C_{CH_4}$ , на електричний імпульсний сигнал струму. Вихідний сигнал струму PD перетворюється та підсилюється до сигналу напруги попереднім підсилювачем (PA). Сигнал з виходу PA надходить до синхронного детектора (SD), який синхронізовано з імпульсами струму, що живлять LED. Для підвищення вихідної потужності LED його живлення здійснюється від імпульсів струму, амплітуда яких становить 1000 мА при періоді 2000 мкс з тривалістю імпульсів 20 мкс.



Під час імпульсного живлення LED вихідний сигнал SD має дві складові: постійну ( $U_{0SD}$ ), яка залежить від амплітуди струму живлення LED, та змінну ( $\Delta U_{0SD}$ ), величина якої залежить від параметрів LED та PD, а також від геометрії ОС. Встановлено функціональну залежність вихідного сигналу напруги SD від  $C_{CH4}$ , в основу якої покладено (1), під час імпульсного живлення LED:

$$U_{SD}(C_{CH4}) = U_{0SD} - (\Delta U_{0SD} - \Delta U_{0SD} e^{-k_{CH4} \cdot C_{CH4}}) = U_{0SD} \left( 1 - \Delta S_{CH4} \left( 1 - e^{-k_{CH4} \cdot C_{CH4}} \right) \right), \quad (2)$$

де  $\Delta S_{CH4}$  – коефіцієнт ослаблення вихідного сигналу напруги SD вимірювача під час зміни  $C_{CH4}$ .

Значення залежності (2) отримано під час проведення досліджень за допомогою повірочних газових сумішей, які для двох зразків становлять:  $\Delta S1_{CH4}=0,0539$  та  $\Delta S2_{CH4}=0,0553$ ;  $\Delta k1_{CH4}=0,3937$  1/°6.0% та  $\Delta k2_{CH4}=0,3961$  1/°6.0%;  $U_{0SD1}=2,5375$  В та  $U_{0SD2}=2,8894$  В при  $T=25,0^\circ\text{C}$ .

Під час досліджень розробленого вимірювача виявлено, що основний внесок до температурного дрейфу його вихідного сигналу вносить зміна інтенсивності випромінювання LED, яку можна описати в діапазоні  $T$  від  $+5^\circ\text{C}$  до  $+55^\circ\text{C}$  феноменологічним рівнянням типу [4]:

$$I_{INOC}(T) = \Delta I_{INOC} \cdot e^{-\frac{T-T_0}{T_1}}, \quad (3)$$

де  $\Delta I_{INOC}$  – інтенсивність випромінювання LED при температурі  $T_0=300$  К;  $T$  – абсолютна температура;  $T_1$  – характеристична температура LED, значення якої для lms34LED дорівнює 130 К.

Зміна постійної складової вихідного сигналу напруги ( $U_{0SD}$ ) при  $C_{CH4}=const$  розробленого вимірювача від температури апроксимована в діапазоні від  $+5^\circ\text{C}$  до  $+55^\circ\text{C}$  залежністю (3):

$$U_{0SD}(T) = U_{0SDT} + \Delta U_{0SDT} \cdot e^{-\frac{T-T_0}{T_1}}, \quad (4)$$

де  $U_{0SDT}$  – постійна складова вихідної напруги SD вимірювача під час живлення LED імпульсним струмом;  $\Delta U_{0SDT}$  – зміна вихідної напруги SD вимірювача під час зміни температури.

В основу запропонованого способу компенсації покладена така ідея [5]: використовувати як термочутливий елемент вимірювача LED, а як інформаційний сигнал – падіння напруги на ньому, яке практично лінійно залежить від температури [5]:

$$U_{LED}(T) = U_{0LED} - k_{LED} \cdot T, \quad (5)$$

де  $U_{0LED}$ , В та  $k_{LED}$ , В/°C – параметри апроксимації функції, які визначено для двох зразків оптичного вимірювача  $U_{0LED1}=2,65$  В та  $U_{0LED2}=2,55$  В;  $k_{LED1}=0,016$  В/°C та  $k_{LED2}=0,016$  В/°C.

Для визначення значення падіння напруги на LED запропоновано [5] з основною імпульсною послідовністю, яка забезпечує живлення LED, використовувати додаткову імпульсну послідовність з амплітудою 12 мА та тривалістю 20 мкс при періоді 2000 мкс. Значення цих параметрів отримано експериментально, що забезпечує мінімальне саморозігрівання кристала LED. Основну та додаткову імпульсні послідовності синхронізовано між собою та рознесено у часі. Тривалість паузи між ними отримано експериментально та складає 60,4 мкс.

Функціональну залежність температурного дрейфу  $U_{0SD}$  від зміни  $U_{LED}$  отримано під час сумісного розв'язання рівнянь (4) та (5):

$$\begin{aligned} U_{0SD}(U_{LED}) &= U_{0SDT} + \Delta U_{0SDT} \cdot e^{-\frac{U_{0LED}-U_{LED}+273-T_0}{k_{LED} \cdot T_1}} = \\ &= U_{0SDT} \left( 1 + \frac{\Delta U_{0SDT}}{U_{0SDT}} \cdot e^{-\frac{T_0-273-U_{0LED}}{k_{LED} \cdot T_1}} \cdot e^{\frac{1}{k_{LED} \cdot T_1} \cdot U_{LED}} \right) = U_{0SDT} \left( 1 + \Delta S_T \cdot e^{k_{SDT} \cdot U_{LED}} \right), \end{aligned} \quad (6)$$

де  $\Delta S_T$  – коефіцієнт ослаблення вихідного сигналу напруги SD під час зміни  $T$ ;  $k_{SDT}=1/k_{LED} \cdot T_1$ , 1/В.

Під час проведення досліджень вихідного сигналу напруги SD у розширеному діапазоні температур до +55°C встановлено параметри залежності температурного дрейфу  $U_{SD}$  від зміни  $U_{LED}$ , яку описано функціональною залежністю (6), значення яких дорівнюють  $U_{0SD1T} = -3,3746$  В та  $U_{0SD2T} = -2,5872$  В;  $\Delta S_{1T} = -0,6142$  та  $\Delta S_{2T} = -0,7234$ ;  $k_{SD1T} = 0,4700$  1/В та  $k_{SD2T} = 0,4815$  1/В.

У відомому способі компенсації температурного дрейфу [5] залежність (6) визначалась як статичний поліном другого порядку. Під час експериментальних досліджень розробленого вимірювача виявлено, що значення коефіцієнтів цього поліному залежать від умов проведення експерименту, а також під час розширення температурного діапазону до +45°C, похибка апроксимації функції (6) поліномом збільшується до 10% на краях діапазону температур. Це призводить до збільшення похибки вимірювання  $C_{CH4}$ , величина якої при температурах менш +10°C та більш +45°C досягає  $\pm 1,0^{06.}\%$  в діапазоні від 0 до 5  $^{06.}\%$ , що у 5 разів перевищує допустиме значення як основної, так і додаткової похибок вимірювання  $C_{CH4}$ . Тому для компенсації постійної складової вихідного сигналу оптичного вимірювача від зміни температури в діапазоні від +5 до +45°C в удосконаленому способі запропоновано використовувати функціональну залежність (6), яка в зазначеному діапазоні температур дозволяє забезпечити величину додаткової похибки вимірювання  $C_{CH4}$  не більш  $\pm 0,2^{06.}\%$  у діапазоні від 0 до 5  $^{06.}\%$ .

Після проведення попереднього градування за температурою до пам'яті контролера записані коефіцієнти функції (6). За результатами вимірювань  $U_{SD}$  і  $U_{LED}$  розраховується рівень ослаблення вихідного сигналу вимірювача ( $\Delta S$ ), величина якого залежить від зміни  $C_{CH4}$ :

$$\Delta S(U_{SD}, U_{LED}) = 1 - \frac{U_{SD}}{U_{0SD}^{calc}(U_{LED})} = 1 - \frac{U_{0SD} (1 - \Delta S_{CH4} (1 - e^{-k_{CH4} \cdot C_{CH4}}))}{U_{0SDT} (1 + \Delta S_T \cdot \exp(k_{SDT} \cdot U_{LED}))}, \quad (7)$$

де  $\Delta S$  – розраховане значення коефіцієнта ослаблення вихідного сигналу напруги SD вимірювача під час зміни  $C_{CH4}$ ;  $U_{0SD}^{calc}(U_{LED})$  – розраховане значення вихідного сигналу SD від зміни  $U_{LED}$ .

На підставі значень  $\Delta S$  (7) і відомих значень  $C_{CH4}$  у повітряних газових сумішах, під час градування вимірювача, розраховуються коефіцієнти ( $c_0$ ,  $c_1$  і  $c_2$ ) функції:

$$C_{CH4}^{calc}(U_{CD}, U_{LED}) = c_0 + c_1 \cdot \Delta S(U_{SD}, U_{LED}) + c_2 \cdot (\Delta S(U_{SD}, U_{LED}))^2. \quad (8)$$

Під час роботи вимірювача за результатами розрахунків за формулою (8) до каналу зв'язку передаються данні щодо зміни концентрації метану в рудничній атмосфері у on-line режимі.

**Висновки.** Удосконалено спосіб компенсації температурного дрейфу вихідного сигналу оптичного вимірювача концентрації метану, який, на відміну від існуючих, виконує компенсацію зміни постійної складової вихідного сигналу від температури не за статичним поліномом, а за функціональною залежністю зміни інтенсивності оптичного випромінювання світлодіода від зміни падіння напруги на ньому. Під час досліджень розробленого вимірювача з удосконаленим способом компенсації температурного дрейфу встановлено величину додаткової похибки вимірювання від зміни температури від +5 до +45°C, величина якої не перевищує  $\pm 0,2^{06.}\%$  в діапазоні від 0 до 5  $^{06.}\%$ , що повністю задовольняє вимогам ДСТУ до цих вимірювачів.

#### Список літературних джерел

1. Приборы шахтные газоаналитические. Общие требования, методы испытания: ДСТУ ГОСТ 24032:2009. – Действ. от 2009-02-01. – К.: Держспоживстандарт, 2009. – 24 с.
2. Zuev, V.E. Laser beam in the atmosphere / V.E. Zuev. – New York: Plenum Publishing Corporation, 1982. – 503 p.
3. ООО «ЛЕД Микросенсор НТ» [Електронний ресурс]: Специф. СД 2700 – 5000 нм. – Режим доступу: <http://ru.lmsnt.com/download/download-led3>. – Назва з титул. екрану.
4. Шуберт, Ф. Светодиоды / Ф. Шуберт; пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
5. Vovna, O.V. Hardware and software method of the output signal temperature drift compensating of the methane concentration optical meter / O.V. Vovna, A.A. Zori, I.S. Laktionov // Technical Electrodynamics. – К.: Institute of Electrodynamics, National Academy of Sciences of Ukraine, 2017. – Vol. 2017, Issue 4. – P. 86 – 92.

**О.В. Осадчук, д.т.н., проф.; В.С. Осадчук, д.т.н., проф.; Я.О. Осадчук, асп.**

**РАДІОВИМІРЮВАЛЬНИЙ ТЕНЗОЧУТЛИВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ  
З АКТИВНИМ ІНДУКТИВНИМ ЕЛЕМЕНТОМ**

Ключові слова: перетворювач тиску, МДН тензотранзистор, від’ємний опір

Створення та вдосконалення систем комп’ютеризованого автоматичного контролю і керування різними об’єктами і процесами багато в чому визначається досягненнями в області радіовимірювальних перетворювачів. Проблема створення системи твердотільних перетворювачів з високими метрологічними характеристиками і вихідним сигналом, перетвореним у форму коду з незначними похибками дуже актуальна [1]. Одним із закономірних шляхів її вирішення можна вважати використання реактивних властивостей напівпровідникових структур для побудови частотних первинних вимірювальних перетворювачів фізичних велечин, зокрема тиску [2, 3].

Транзистори зі структурою МДН широко застосовуються в мікроелектроніці завдяки своїм перевагам: мають добрі електричні характеристики, підвищену надійність, відсутність додаткової ізоляції. У даний час недостатньо вивчені фізичні механізми, що протікають в транзисторній структурі з від’ємним опором під дією тиску. Ці питання мають актуальність для розвитку напівпровідникових радіовимірювальних перетворювачів “тиск-частота” на транзисторних структурах з від’ємним опором [4].

Схема радіовимірювального перетворювача тиску подана на рис.1. Тензочутливі МДН-транзистори VT1, VT2, VT3 реалізують генератор електричних коливань, в якому коливальний контур утворений ємнісною складовою повного опору з від’ємним значенням активної складової на електродах стік-стік транзисторів VT1, VT2 та індуктивною складовою повного опору на електродах стік-витік VT3. Таким чином, при дії тиску на тензочутливі МДН-транзистори змінюється як ємність, так і індуктивність коливального контуру генератора.

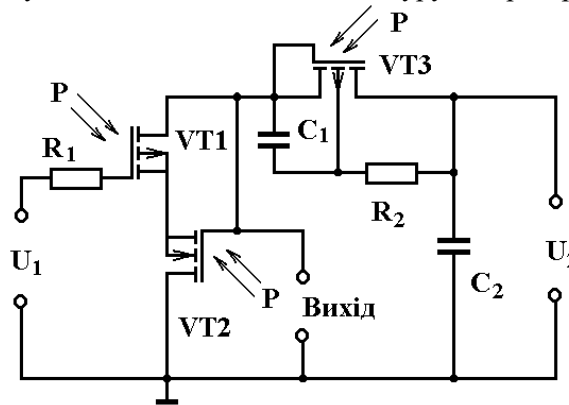


Рис.1.Схема тензочутливого перетворювача з активним індуктивним елементом

Функція перетворення, тобто залежність частоти генерації від зміни тиску, визначається на основі нелінійної еквівалентної схеми радіовимірювального перетворювача. Спочатку визначається реактивна складова повного опору на електродах стік-стік транзисторної структури, а потім з реактивної складової визначається еквівалентна ємність, яка залежить від зміни тиску. Зміна еквівалентної ємності визначає залежність частоти генерації від тиску. Аналітичний вираз функції перетворення має вигляд

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{B + \sqrt{B^2 + 4L_{ekv} R_{B1}^2 C_{BS1}^2(P) R_{B2}^2 C_{BS2}^2(P) [R_{B1}^2 C_{BS1}^2(P) + R_{B2}^2 C_{BS2}^2(P) - L_{ekv}]}{2L_{ekv} R_{B1}^2 C_{BS1}^2(P) R_{B2}^2 C_{BS2}^2(P)}}, \quad (1)$$

де  $B = R_{B1}^2 C_{BS1}^2(P) R_{B2}^2 C_{BS2}^2(P) + R_{B2}^2 C_{BS2}^2(P) R_{B1}^2 C_{BS1}^2(P) - L_{ekv} R_{B1}^2 C_{BS1}^2(P) - L_{ekv} R_{B2}^2 C_{BS2}^2(P)$ ,

$L_{ekv}$  – еквівалентна індуктивність коливального контуру;  $P$  – тиск.

Чутливість радіовимірювального перетворювача тиску визначається на основі (1):

$$\begin{aligned}
S_P = & \frac{\sqrt{2}}{8} \left( \left( R_{B1}^2 \left( \frac{\partial C_{BS1}(P)}{\partial P} \right) R_{BS2}^2 C_{BS2}^2(P) + 2R_{BS2}^2 C_{BS2}(P) R_{B1}^2 C_{BS1}(P) \left( \frac{\partial C_{BS2}(P)}{\partial P} \right) + R_{B2}^2 \left( \frac{\partial C_{BS2}(P)}{\partial P} \right) \right) \times \right. \\
& \times R_{B1}^2 C_{BS1}^2(P) + 2R_{B2}^2 C_{BS2}(P) R_{B1}^2 C_{BS1}(P) \left( \frac{\partial C_{BS1}(P)}{\partial P} \right) - 2L_{ekv} R_{B1}^2 C_{BS1}(P) \left( \frac{\partial C_{BS1}(P)}{\partial P} \right) - 2L_{ekv} R_{BS2}^2 C_{BS2}(P) \times \\
& \times \left( \frac{\partial C_{BS2}(P)}{\partial P} \right) + \frac{1}{2} \left( 2B \left( R_{B1}^2 \left( \frac{\partial C_{BS1}(P)}{\partial P} \right) R_{BS2}^2 C_{BS2}^2(P) + 2R_{B2}^2 C_{BS2}(P) R_{BS2}^2 C_{BS1}(P) \left( \frac{\partial C_{BS2}(P)}{\partial P} \right) - R_{B2}^2 \times \right. \right. \\
& \times \left( \frac{\partial C_{BS2}(P)}{\partial P} \right) R_{B1}^2 C_{BS1}^2(P) + 2R_{B2}^2 C_{BS2}(P) R_{B1}^2 C_{BS1}(P) \left( \frac{\partial C_{BS1}(P)}{\partial P} \right) - 2L_{ekv} R_{B1}^2 C_{BS1}(P) \left( \frac{\partial C_{BS1}(P)}{\partial P} \right) - \\
& - 2L_{ekv} R_{BS2}^2 C_{BS2}(P) \left( \frac{\partial C_{BS2}(P)}{\partial P} \right) \left. \right) + 8L_{ekv} R_{B1}^2 C_{BS1}(P) R_{B2}^2 C_{BS2}^2(P) C_{BS1}(P) D \left( \frac{\partial C_{BS1}(P)}{\partial P} \right) + 8L_{ekv} R_{B1}^2 \times \\
& \times C_{BS1}^2(P) R_{B2}^2 C_{BS2}^2(P) D \left( \frac{\partial C_{BS2}(P)}{\partial P} \right) + 4A \left( R_{B1}^2 \left( \frac{\partial C_{BS1}(P)}{\partial P} \right) + R_{B2}^2 \left( \frac{\partial C_{BS2}(P)}{\partial P} \right) \right) \left. \right) / \sqrt{B^2 + 4AD} \Big/ A - \\
& - \left( \left( 2(Y) \left( \frac{\partial C_{BS1}(P)}{\partial P} \right) \right) / A \right) - \left( \left( 2(Y) \left( \frac{\partial C_{BS2}(P)}{\partial P} \right) \right) / A \right) / \left( \pi \sqrt{\frac{Y}{A}} \right), \tag{2}
\end{aligned}$$

де  $A = L_{ekv} R_{B1}^2 C_{BS1}^2(P) R_{B2}^2 C_{BS2}^2(P)$ ,  $D = R_{B1}^2 C_{BS1}(P) + R_{B2}^2 C_{BS2}(P) - L_{ekv}$ ,  $Y = B + \sqrt{B^2 + 4AD}$ .

Числові розрахунки на персональному комп'ютері дозволяють отримати функцію перетворення радіовимірювального мікроелектронного перетворювача тиску у вигляді графіка (рис.2).

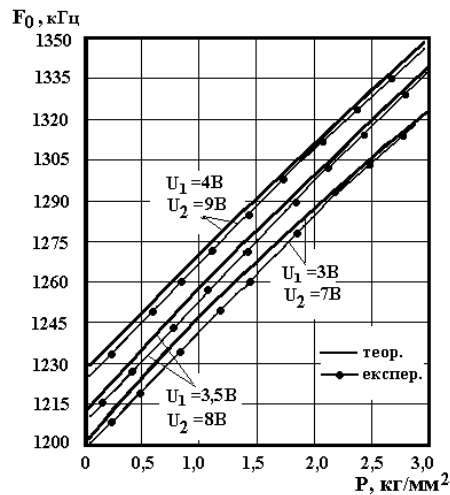


Рис.2. Теоретичні і експериментальні залежності частоти генерації від зміни тиску

Чутливість радіовимірювального перетворювача, яка розрахована згідно (2), складає 34 кГц/кг/мм<sup>2</sup>. Адекватність розробленої моделі в порівнянні з експериментом визначено у вигляді відносної похибки, розбіжність теоретичних і експериментальних досліджень складає ±3%.

### Література

1. Мікроелектронні сенсори фізичних величин. За редакцією З.Ю.Готри. В 3 томах. – Львів: Ліга-Прес, 2003. Т.2. – 595 с.
2. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Реактивные свойства транзисторов и транзисторных схем / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук. – Винница: «Универсум-Винница», 1999. – 276 с.
3. Осадчук А.В. Микроэлектронные частотные преобразователи на основе транзисторных структур с отрицательным сопротивлением / А.В. Осадчук – Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 2000. – 302 с.
4. Osadchuk A.V., Osadchuk I.A. Frequency transducer of the pressure on the basis of reactive properties of transistor structure with negative resistance // Proceedings of the 2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). 21-23 May 2015. Omsk. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147168

**Yuriy Vashpanov, Dr. of Sci., Prof.**

## **MEASUREMENT OF ETHANOL CONCENTRATION WITH A NEW GAS PHOTOVOLTAIC NANOSENSOR**

*Key words:* Measurement, photovoltaic effect, gas sensors

Modern ethanol gas sensors have the limited dynamic range of measurements. For example, dynamic range of measurements for environmental alcohol sensor of Dart Sensors Ltd is 0-250 ppm [1], MR513 Hot-wire type alcohol gas sensor 0-1000 ppm [2], TGS 2620 alcohol vapor sensor 50-5000 ppm [3]. Progress in gas sensors technology has made it possible with a new smart gas sensitivity element.

A photovoltaic junction between nanoporous and crystalline silicon can be produced by electrochemical etching technology of a silicon wafer surface. We found a technology for producing a special gas and light transparent contact for new photovoltaic device. In this paper we report about gas sensitivity properties of these sensors for ethanol vapors.

Porous silicon for this study was formed by anode electrochemical etching of (111) oriented p-type silicon wafer with a resistivity of 10  $\Omega\text{cm}$  at the current density of 10  $\text{mA}/\text{cm}^2$ , in a HF-based solution. During the etching process an additional illumination and an ultrasonic processing was applied to the silicon surface. The thickness of porous silicon layers is found from cross-section scanning electron microscopy (approximately 12  $\mu\text{m}$  at 5 min etching time). Thin porous film from aluminum was manufactured on a surface of porous layer (gas and light transparent contact (C) on Figure 1). This film was transparent to illumination and gas molecules and created electrical contact with porous silicon (electrical contact (A) on Figure 1). Top (A) and bottom electrical contact B to silicon wafer is manufactured by standard technology (Figure 1).

Manufactured porous silicon layer had red ( $\lambda_{\text{max}} \approx 780 \text{ nm}$ ) luminescence under laser illuminations at a wave length of 441.2 nm. This red luminescence had a half-width at half maximum of approximately 0.2 eV. The luminescence in visible range of spectrum is related to quantum wires. Broad band of luminescence peak demonstrates a different thickness of quantum wires. It means that porous silicon has quantum wires with greater band gap than crystalline silicon. Band gaps of our nanowires system are in the ranges of  $1.7 \pm 0.2 \text{ eV}$ . In our case the photovoltaic junction should be formed between porous silicon and silicon wafer. The light induced heterojunction can be the single reason of occurrence of the photo electromotive force on contacts.

Photo-EMF was observed near the wavelength of light of approximately 730 nm. An increase of ethanol concentration in the measurement chamber leads to a decrease of the Photo-EMF magnitude. Usually photodetectors have a maximum photo-response at a wavelength of light corresponding to band gap energy. In our case the band gap energy of a porous silicon layer equals approximately 1.7 eV (energy of light quantum at wavelength 730 nm).

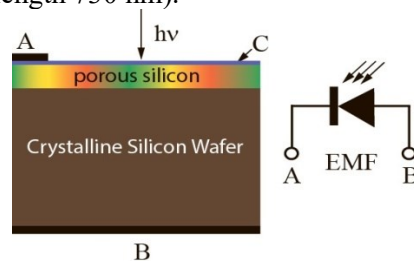


Fig. 1. A cross-section of photovoltaic sensor structure with nanoporous silicon on crystalline silicon wafer

The photo electromotive forces between A and B contacts under illumination of samples were studied in a special measuring chamber at room temperature with different composition of nitrogen atmosphere and ethanol vapors. Magnitudes of electrical voltages (PhotoEMF) between A and B contacts depended on concentration of ethanol vapors in the measurement chamber and intensity of illumination (Figure 2). Different levels of Photo-EMF are detected for different ranges of concentration: from 10 ppm to 1000 ppm at 200 lx, from 1 ppm to 100 ppm at 20 lx and from 0.1 ppm to 10 ppm at 2 lx.

Illumination of porous silicon layer generate electron-hole pairs  $G$  in nanowire (generation process is marked in red in Figure 3). These electron-hole pairs recombined through recombination centers

(recombination process is marked in blue in Figure 3). A part of holes reaches to  $p$ -type region of crystalline silicon. Then photo electromotive force should appear on heterojunction.

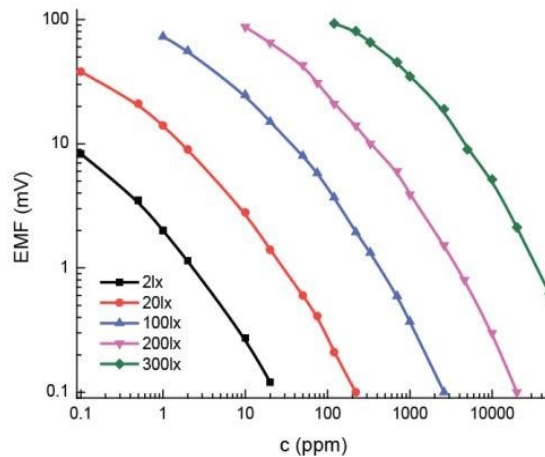


Fig. 2. Dependences of Photo-EMF on concentration of ethanol vapors under different illumination levels

The intensity is inhomogeneous along nanowires. The generation of electron-hole pairs is maximal on top part of the porous layer. A physical mechanism of Photo-EMF should be identical with well-known photo electromotive force of light induced photovoltaic junction.

Ethanol molecules are adsorbed mainly on surface of nanowires (Figure 3). Adsorption of ethanol molecules creates new surface levels. A re-charging of levels in quantum wires and electrical micro fields close to polar ethanol molecules can effect on recombination rates of electron-hole pairs. In our case, the ethanol adsorption substantially influences on magnitude of photo-EMF (Figure 2).

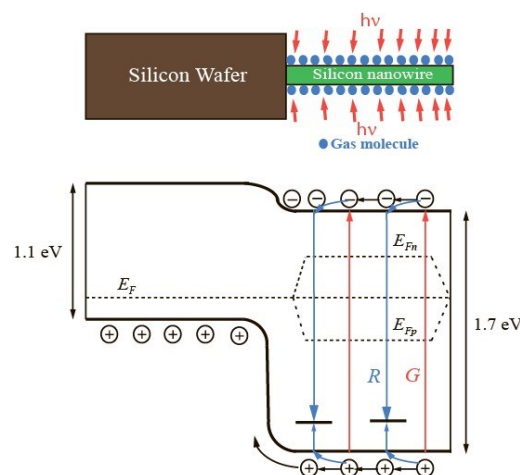


Fig. 3. A model of a new photovoltaic gas sensors and a mechanism of photo- and gas-sensitivity

Based on our results, we conclude that photo-EMF on photovoltaic junction between nanoporous and crystalline silicon depends on ethanol vapors concentration in wide range. In the literature on gas sensors technology (for example, [4]) there is no find information about similar sensors sensitivity. A use of the new photovoltaic gas nanosensors technology will open a new way of building the wide range gas sensors.

### References

1. Environmental alcohol sensor. Product information. Dart Sensors Ltd, [www.dartsensors.com/](http://www.dartsensors.com/).
2. MR513 Hot-wire type alcohol gas sensor. Product information. Hanwei Electronics Co., Ltd, [www.hwsensor.com/](http://www.hwsensor.com/).
3. TGS 2620 alcohol vaporssensor. Product information. Figaro Engineering, Inc., [www.figaro.co.jp/](http://www.figaro.co.jp/).
4. Soloman Sabrie *Sensors handbook*, Second Edition; McGraw-Hill Companies, New York, 2010; p.923-927.

Й. Й. Білинський, д.т.н., проф., В. П. Стахов, аспірант

## ПАСИВНИЙ РАДІОЧАСТОТНИЙ МОНОІМІТАНСНИЙ ДАВАЧ З АНАЛОГО-ЦИФРОВИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ

**Ключові слова:** моноімітансна логіка, радіочастотні давачі, аналого-цифровий перетворювач.

Завдяки поширенню радіочастотних давачів у різноманітних сферах людської діяльності існує потреба у постійному покращенні вже існуючих технологій їх виготовлення. Однією з актуальних проблем є проблема побудови інтелектуальних давачів, що мали б низьку ціну і енергонезалежність. Однією з напрямів вирішення цієї проблеми є відмова від чипів, що використовуються в інтелектуальних давачах [1]. Альтернативою чипам, які побудовані на транзисторній логіці, може бути моноімітансна логіка, яка має низьку вартість виготовлення і енергонезалежність [2].

У роботі розглядається пасивний радіочастотний давач, який містить аналого-цифровий перетворювач, побудований на моноімітансних логічних елементах. В основі роботи такого аналого-цифрового перетворювача лежить залежність хвильового опору відрізків лінії передачі від їх ширини для моноімітансних логічних елементів «НІ» [3], внаслідок чого відбувається зсув порогу спрацювання елементів. Такий давач працює у НВЧ діапазоні за принципом зворотнього відбиття НВЧ сигналу, що забезпечує високу дальність їх роботи [4].

Схема реалізації такого давача показано на рис. 1:

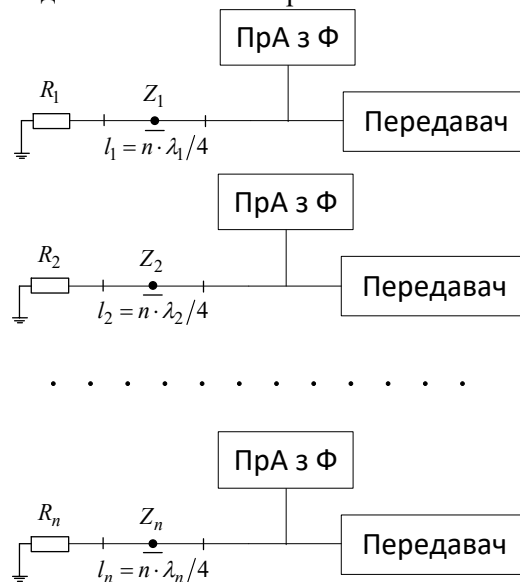


Рис. 1 - Структурна схема пасивного радіочастотного моноімітансного давача з аналого-цифровим перетворювачем

На рис. 1 ПрА з Ф – приймальна антена з фільтром, який працює тільки для сигналу визначеної частоти. Для кожного входу давача використовується сигнал з індивідуальною частотою. Кожен елемент «НІ» має довжину відрізка лінії передачі  $l_n$ , розраховану як  $\lambda/4$  від довжини хвилі сигналу, який подається на цей елемент. Таким чином відбувається по чергове або одночасне опитування кожного елемента системи. Крім цього відрізки лінії передачі для кожного з елементів «НІ» мають не тільки різну довжину, але і ширину, завдяки чому зміниться хвильовий опір відрізків.

В роботі проведено моделювання у програмному пакеті AWR Design Environment 9.00 схеми пасивного радіочастотного моноімітансного давача з логічними елементами «НІ» з різними значеннями хвильового опору, внаслідок чого отримана залежність вихідної напруги від вхідного активного опору при хвильових опорах 10, 20, 30, 40, 50 Ом. Результати, отримані при моделюванні, зведені у графіках на рис. 2:

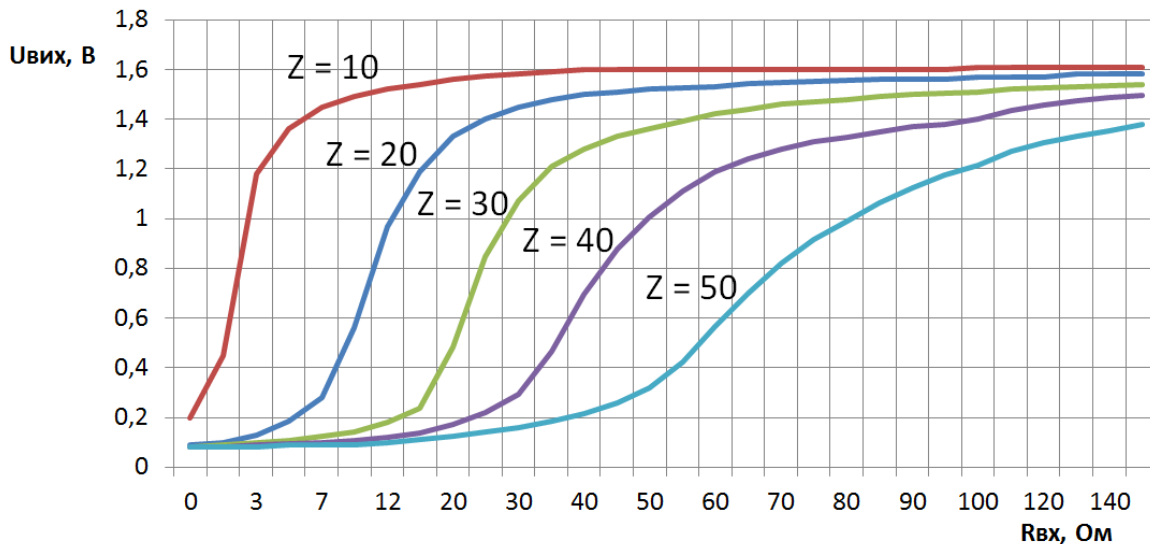


Рис. 2 – Залежність зміни порогу перемикання моноімітансних логічних елементів «НІ» від хвильового опору відрізків лінії передачі

Як видно з рис. 2, при зміні хвильового опору буде змінюватись поріг перемикання елемента «НІ». Таким чином, при зміні хвильового опору кожного з елементів «НІ» можемо отримати аналого-цифровий перетворювач, який може контролювати ступінь нагрівання, освітлення чи іншого параметру одного об'єкта, і передавати цю інформацію у цифровому вигляді за допомогою НВЧ сигналу. Крім того, такий давач є енергонезалежним і не містить чипів.

Таким чином, в результаті роботи розроблений радіочастотний давач з аналого-цифровим перетворювачем, який побудований на моноімітансних логічних елементах «НІ» з різними порогоми спрацювання, і не потребує джерела живлення.

#### Список літературних джерел:

1. ChiplessRFIDSensors / NemaichandraKarmakar, EmranMdAmin, JhantuKumarSaha // JohnWiley&Sons, 2016. - 272 p.
2. Моноиммитансные логические RLC-элементы / Н.А. Филинюк, Л.Б. Лищинская, Е.В. Войцеховская, В.П. Стахов // Вістник Хмельницького національного університету. – 2015. - № 3 (225), с. 117-121.
3. Моноімітансний логічний R-елемент «НІ» / М.А. Філінюк, Л.Б. Ліщинська, О.В. Войцеховська, В.П. Стахов // Міжнародний науково-технічний журнал “Інформаційні технології та комп’ютерна інженерія”. – 2015. - № 1, с. 71-76.
4. Дшхунян В. Л. Электронная идентификация. Бесконтактные электронные идентификаторы и смарт-карты / В. Л. Дшхунян, В. Ф. Шаньгин. – М.: ООО «Издательство АСТ»: Издательство «НТ Пресс», 2004. – 695 с. – ISBN5-17-026327-9.



**В.П. Квасніков, д.т.н., професор, В.А. Галицький**

## **МЕТОД БАЛАНСУВАННЯ РЕЗОНАТОРА ВІБРАЦІЙНОГО ГІРОСКОПУ ОСНОВНІ ТЕХНІЧНІ ВКАЗІВКИ**

*Ключові слова: методи, контроль, параметри, балансування, резонатор, гіроскоп, вібраційний.*

### **Вступ**

Найбільш істотними ознаками, що характеризують гіроскопи є: тип гіроскопа, фізичний принцип побудови чутливого гіроскопічного елемента, тип підвісу, призначення. Вібраційний гіроскоп, прилад для визначення кутової швидкості об'єкту, що містить реагуючі на обертання об'єкта віброуючі деталі. Вібраційні гіроскопи в даний час використовуються в різних областях, в першу чергу, завдяки їх міцності, зменшеному витраті електроенергії і швидкій роботі. Принцип роботи такого гіроскопу у виникненні моменту Коріолісових сил інерції, що викликають крутильні коливання вібратора навколо осі. Виготовлення гіроскопа пов'язане з рядом технічних питань, які будуть розглянуті в даній роботі.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

У ряді робіт, присвячених дослідженню вібраційних гіроскопів, з метою спрощення розрахунків дослідження вібраційних гіроскопів базується на використанні одновимірних моделей. Так в роботах [1, 2] наведені одномірні математичні моделі п'єзоелектричних вібраційних гіроскопів і розглянуті методи їх аналізу. Зроблено висновок про можливість використання п'єзоелектричних гіроскопів в якості датчиків кутової швидкості. Недоліком даних моделей є неможливість обліку різних похибок виготовлення і збірки п'єзоелектричних вібраційних гіроскопів, що вимагає проведення балансування в цілях компенсації похибок, не прийнятих до уваги в рамках даних моделей. Проблеми аналізу роботи п'єзоелектричного вібраційного гіроскопа на основі методу електричних еквівалентних схем розглянуті в роботах [3, 2, 4]. Представлені найпростіші еквівалентні схеми п'єзоелектричних вібраційних гіроскопів різних конструкцій. вивчено вплив перехресних зв'язків між первинними і вторинними коливаннями. Показаний взаємозв'язок чутливості гіроскопа і різниці частот первинних і вторинних коливань. У роботах [3, 2,] аналізуються робочі характеристики різних конфігурацій гіроскопів камертонного типу. У статтях [4, 1] наведені аналітичні моделі гіроскопів камертонного типу. Розглянуто вплив демпферування на чутливість гіроскопа.

### **Формулювання цілей статті (постановка завдання)**

Розглянути типову методику, статичного балансування чутливого елемента вібраційного гіроскопу, навести основні технічні вказівки щодо виконання його перевірки.

Дослідний зразок відноситься до резонаторів, які мають корпус, по суті, циліндричної форми. Ось  $z$  зазвичай відповідає осі циліндра, а осі  $x$  і  $y$  лежать в площині, перпендикулярній осі  $z$ . Відомо, що такий резонатор при вібрації деформується переважно еліптично з чотирма вібраційними пучностями, рівномірно розподіленими по колу циліндра в площині  $x, y$ . Перший вібраційний стан 3, 7 резонатора (рис.1) для двох певних моментів щодо стану 4 спокою.

Резонатор проходить від еліпса 3 до еліпсу 7 в кінці напівперіоду. Будь-яке обертання гіроскопу навколо осі  $z$  призводить до виникнення сили Коріоліса, яка викликає зміщення в обертанні вібраційних пучностей щодо кола циліндра. П'єзоелектричні елементи, розташовані на рівні вібраційних пучностей, вимірюють сигнал, зміни якого характеризують кутову швидкість обертання і / або кут повороту навколо осі  $z$ . В якості ілюстрації на Рис. 1 показано, що обертання резонатора викликає вторинні вібрації в формі еліптичного стану 2, 8, для якого головні осі  $x_1, y_1$  розташовані під кутом  $45^\circ$  до осей  $x, y$ . Вібрація проходить від еліпса 2 до еліпсу 8 в кінці напівперіоду. Сигнал, який вимірюється п'єзоелектричними елементами на рівні цих осей, визначає, головним чином, кутову швидкість обертання. Зазвичай гіроскопи містять чотири п'єзоелектричних детектуючих елемента для підтримки вібрації зазначеного резонатора і чотири інших п'єзоелектричних елемента для вимірювання вібраційних сигналів резонатора. Ці вісім елементів найбільш часто рівномірно розподілені по резонатору (чотири на осях  $x, y$  і чотири на осях  $x_1, y_1$ ).

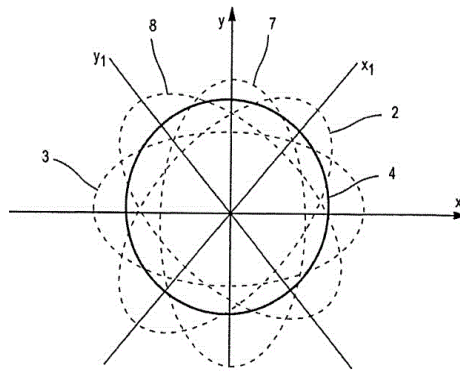


Рис. 1 Вібраційний стан резонатора

Балансування резонатора коливань є найважливішою операцією регулювання приладу, від якої багато в чому залежить його точність. При статичному балансуванні процедура видалення невідбалансованої маси повинна бути такою, щоб центр мас резонатора лежав на осі симетрії з необхідною точністю. Динамічне балансування повинно бути проведено таким чином, щоб не порушити статичного балансування. Звідси випливає умова симетрії розташування видалення мас на кромці резонатора. Процедура включає два етапи: - визначення величин і кутових положень дефектів 4-ої форми; - видалення невідбалансованої маси згідно балансувального процесу. Процес балансування резонатора починається виміром по 2-м осям різночастотності, різнодобротності, кутового положення осі коливання генеруючої стоячої хвилі щодо електродів збудження. Рівняння генеруючої стоячої хвилі щодо електродів збудження.

$$W(\varphi, t) = A \cos 2(\varphi \pm \varphi_0) \cos \omega t$$

де  $\varphi$  - окружний кут резонатора;

$\varphi_0$  - кут орієнтації хвилі щодо електродів збудження.

Для отримання даних параметрів вимірювальна система на резонансній частоті фіксує по вимірювальній осі:

- резонансну частоту  $F$ ; - амплітуди пучності  $Anr$ ; - амплітуду вузла  $N$ ; -кватратурну  $C$ ;
- синфазну складову вузла  $S$ ; - добротність  $Q$ .

Дисбаланс усувається послідовним зняттям маси в 4-х точках щодо осі з меншою частотою (більшою масою) орієнтація яких щодо важкої осі обчислюється за формулою:

$$\varphi_0 = \pm \frac{1}{2} \arctg(N/Anr)$$

Знак  $\varphi_0$  - залежить від фази сигналу вузла по відношенню до пучности ( $0^\circ - 180^\circ$ ):

- при  $0^\circ$  кут позиціонування знаходиться за годинниковою стрілкою щодо важкої осі;

- при  $180^\circ$  кут позиціонування знаходиться проти годинниковою стрілкою щодо важкої осі.

Маса знімається точково в точках  $\varphi_0$ ,  $\varphi_0 + 90^\circ$ ,  $\varphi_0 + 180^\circ$ ,  $\varphi_0 + 270^\circ$  (Рис.2).

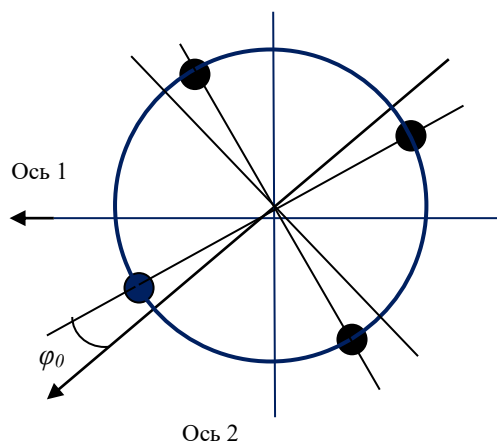


Рис.2. Місця зняття маси з кромки резонатора.

Після чого запускається цикл вимірювання параметрів резонатора по 2-м осям, здійснюється необхідна кількість проходів зняття мас і вимірювань, поки різночастотність між двома осями не стане  $\Delta f < F$  Гц.

Величина маси  $\Delta m$ , яку необхідно видалити, визначається за формулою:

$$\Delta m = (\Delta f / F) M$$

де  $\Delta f$  - різночастотних,  $F$  - резонансна частота,  $M$  - модальна маса.

Для резонатора діаметром  $D$  mm висотою обода  $h$  mm і товщиною  $d$  mm модальна маса дорівнює:

$$M = \pi D d h \rho$$

Так як знімати масу необхідно з 4 точок симетрично розташованих по колу (через  $90^\circ$ ), то з кожної точки знімається маса рівна  $\Delta m / 4$

Масу вибірки визначається за формулою:

$$m = \rho \cdot S \cdot s \text{ рез,}$$

де  $\rho$  - щільність матеріалу резонатора мг / мм<sup>3</sup>;

$S$  - площа перетину тіла вибірки, мм<sup>2</sup>;

срез - товщина стінки резонатора, мм.

Основні технічні вказівки щодо виконання перевірки резонатора. Встановити резонансну частоту  $F_p$  на генераторі коливальних. Встановити максимальне значення напруги по вольтметру 1 змінюючи частоти «Hz» на генераторі.

Значення резонансної частоти  $F_p$ , встановлене на генераторі та значення напруги по вольтметру 1  $U_{oc}$ , значення напруги по вольтметру 2  $U_{sin}$  дають змогу розрахувати кут орієнтації хвилі збудження по одному з каналів за формулою:

$$\varphi = \frac{1}{2} \arctg \frac{U_{sin}}{U_{oc}}$$

Обчислюємо різночастотність  $\Delta F_p$  за формулою:

$$\Delta F_p = |F_{pX} - F_{pY}|$$

Визначити значення добротності резонатора по каналу X, Y можливо за формулою:

$$Q_{X,Y} = F_{pX,Y} / (F_{2X,Y} - F_{1X,Y})$$

### Висновки

Знаючи величину маси, яку необхідно видалити, з наведених вище розрахунків вибираємо діаметр фрези і відповідну глибину заглиблення фрези. Залишається відкритим питання контролю заглиблення фрези. Вирішити це питання можливо за допомогою додаткового кронштейну з встановленим мікрометром (ціна поділки 0,01 мм), який контролює величину заглиблення фрези при вибірці маси з кромки циліндричної поверхні резонатора. Даний метод, показав хорошу ефективність скорочення часу статичного балансування металевого циліндричного резонатора.

### Список використаної літератури

1. Шарапов, В. М. Пьезоэлектрические датчики / В. М. Шарапов, М. П. Мусиенко, Е. В. Шарапова – М. : Техносфера, 2006. – 628 с.
2. Сущенко, О. А. Обзор современного состояния микроэлектро-механических датчиков угловой скорости и тенденции их развития / О. А. Сущенко, С. В. Карасёв // Електроніка та системи управління. – 2011. – №1(27). – С. 103–108.
3. Левицкий, А. А. Численное моделирование пьезоэлектрического вибрационного гироскопа / А. А. Левицкий, П. С. Маринушкин // Датчики и системы. – 2009. – № 9. – С. 11–14.
4. Брозгуль, Л. И. Вибрационные гироскопы / Л. И. Брозгуль, Е. Л. Смирнов ; под ред. Б. А. Рябова. – М. : Машиностроение, 1970. – 215 с.

**В. С. Осадчук, д.т.н., проф.; О. В. Осадчук, д.т.н., проф.; О. М. Жагловська, к.т.н., старший викладач; Д. С. Коваль, студент**

**ВИМІРЮВАЧ РІВНЯ РІДИНИ З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ НА ОСНОВІ ЄМНІСНОГО ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА**

Ключові слова: чутливий елемент, ємність, частотний перетворювач, рівень рідини, від’ємний диференційний опір, функція перетворення.

Вимірювання рівня рідини є актуальним питанням контролю стану середовища. Вибір приладу вимірювання рівня рідини залежить перш за все від її властивостей, умов зберігання та параметрів навколишнього середовища. У системах вимірювання рівня рідини високої точності можна досягнути, використовуючи перетворювачі на основі транзисторних структур з від’ємним опором з вихідним частотним сигналом [1]. Такі перетворювачі характеризуються високою завадостійкістю, простотою та значною точністю перетворення в цифровий код, а також зручністю комутацій в багатоканальних вимірювальних системах [2, 3].

На рис.1 подано електричну схему вимірювача рівня рідини з частотним виходом на основі ємнісного чутливого елемента. Пристрій придатний для виміру рівня в широкому діапазоні тисків і температур агресивних і неагресивних середовищ.

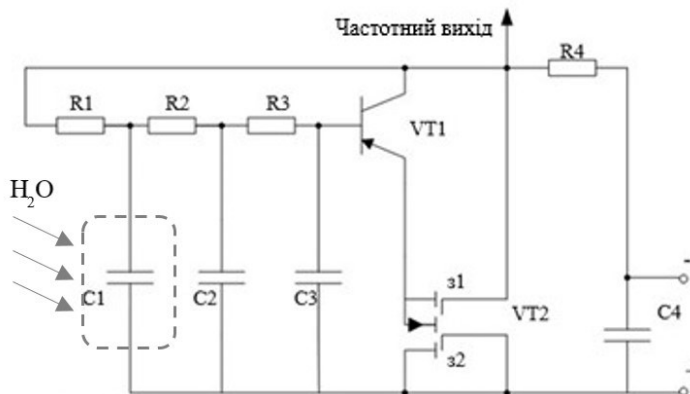


Рисунок 1 – Електрична схема вимірювача рівня рідини з частотним виходом на основі ємнісного чутливого елемента

Вимірювач рівня рідини складається з біполярного і двозатворного МДН-транзистора, а також містить ємнісний чутливий елемент у вигляді циліндричного конденсатора С1 (рис. 2). При підвищенні напруги до певного значення на електродах колектор біполярного транзистора та стік МДН-транзистора виникає від’ємний опір, який приводить до виникнення електричних коливань в контурі, який утворений паралельним включенням повного опору з ємнісною складовою на електродах колектор біполярного транзистора і стік МДН-транзистора та опором R4. При зміні рівня рідини, а отже зміні ємності чутливого елемента, змінюється ємнісна складова повного опору на електродах колектор біполярного транзистора та стік МДН-транзистора, що викликає ефективну зміну частоти коливального контуру.

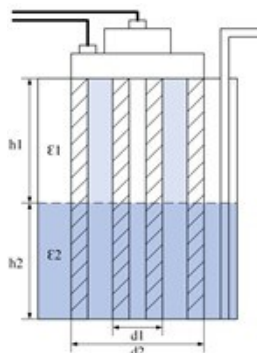


Рисунок 2 –Конструкція ємнісного чутливого елемента

Ємність чутливого елемента визначається:

$$C_{\text{зар}} = \frac{2\pi\varepsilon_1\varepsilon_2h_2(h-h_2)}{\frac{\varepsilon_2h}{\ln\left(\frac{a_2}{a_1}\right)}}. \quad (1)$$

Результати експериментальних досліджень подано на рис. 3 – 4. В якості рідини використано дистильовану воду.

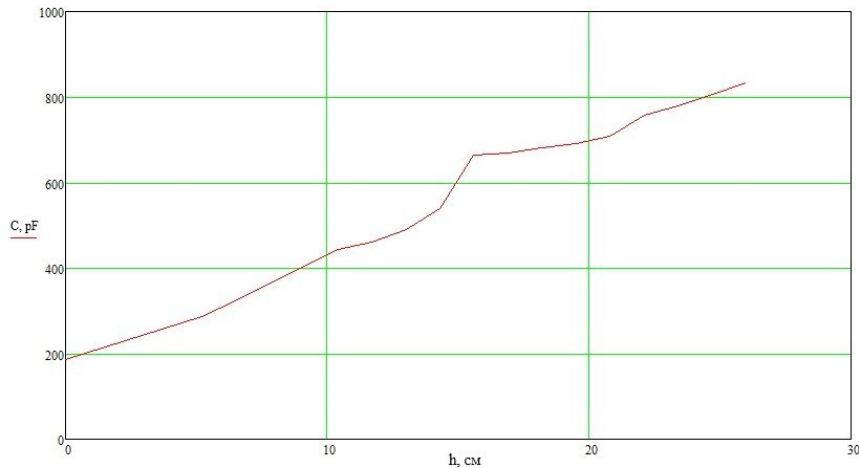


Рисунок 3 – Залежність ємності чутливого елемента від зміни рівня рідини.

Як видно з рис. 3 при збільшенні рівня рідини яка знаходиться в резервуарів межах 0–26 см ємність чутливого елемента (конденсатора) буде збільшуватися в межах 186 – 834 пФ.

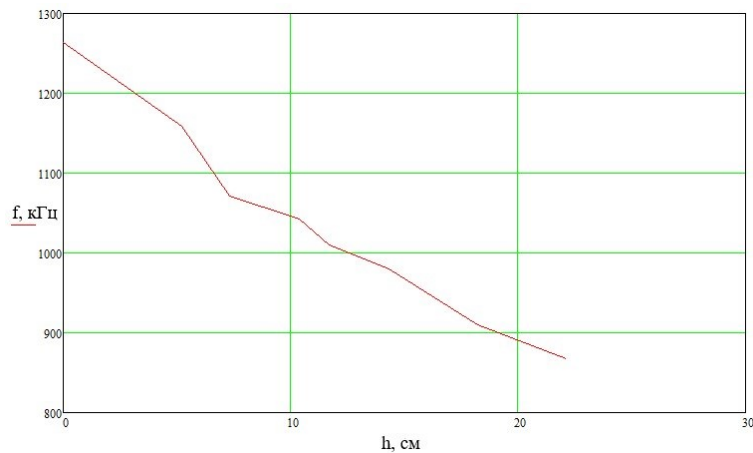


Рисунок 4 – Залежність вихідної частоти від зміни рівня рідини

Як видно з рис. 4 при збільшенні рівня рідини яка знаходиться в резервуарів межах 0–26 см вихідна частота буде зменшуватися в межах 1264,2 – 867 кГц.

Список літератури:

1. Осадчук В. С. Напівпровідникові прилади з від’ємним опором / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 162 с.
2. Осадчук В. С. Радіовимірювальні мікроелектронні перетворювачі потужності оптичного випромінювання з частотним виходом : монографія / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, О. М. Жагловська. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 168 с.
3. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від’ємним опором / О. В. Осадчук – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2000. – 303 с.

Д.А. Ковальчук, аспірант; О.В. Мазур, к.т.н., доцент

## ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА ДИМОВИХ ГАЗІВ ЯК ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ

Ключові слова: газовий котел, енергоефективність, тепловий насос, вимірювання, управління, дослідження.

Для опалення житлових та промислових будівель найчастіше використовують водогрійні котли, що працюють на природному газі. Однак останнім часом на паливному ринку спостерігається постійне зростання цін, зокрема і на природний газ. Наслідком цього є збільшення тарифів на опалення та гаряче водопостачання. Одним з кроків до запобігання підвищенню тарифів є підвищення енергетичної ефективності існуючих котельних та тих, що розробляються. Такі роботи постійно проводяться. В [1,2] були розглянуті певні заходи, що дозволяють заощадити на паливі при експлуатації котельні. Більшість заходів спрямовані на утилізацію тепла димових газів, яка становить близько 15% від загальної теплотворної здатності палива, і в звичайних котельних губиться. За звичай для цього використовують конденсаційні котли. В [3] проведено аналіз енергетичної ефективності конденсаційного котла в реальних погодних умовах регіонів України. Результати дослідження показали, що в умовах реальної експлуатації вони не завжди використовують всю теплоту згоряння палива, і їх енергетична ефективність залежить від режиму роботи системи опалення та температури навколишнього середовища. Реалізація сталого режиму глибокої утилізації тепла димових газів на протязі всього опалювального періоду можлива з використанням теплового насосу. Для дослідження параметрів тепломасообмінних процесів та режимів роботи теплонасосного утилізатора розробки енергоефективних алгоритмів керування була розроблена та виготовлена лабораторна установка, яка дозволяє проводити експерименти як в ручному, так і в автоматичному режимах, та налагоджувати алгоритми керування.

Установка включає в себе технологічну систему та електронну систему збору даних та управління. Схема технологічної системи показана на рисунку 1, а структура системи збору даних та управління (СЗДУ) на рисунку 2.

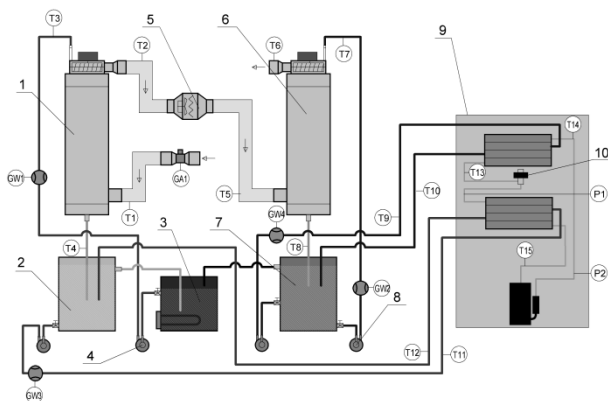


рис. 1

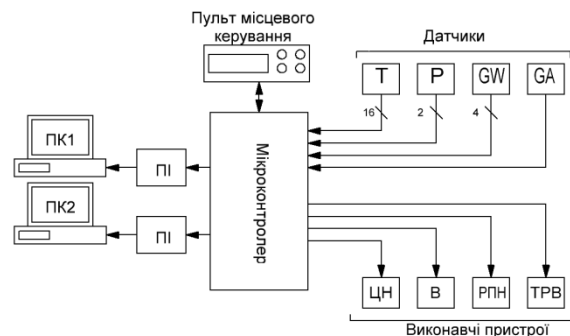


рис. 2

Технологічна система складається з генератора пароповітряної суміші, конденсаційного утилізатора, теплового насосу.

Генератор пароповітряної суміші імітує димові гази з виходу котла за температурою та вологістю. До його складу входить теплообмінник-зволожувач контактного типу (1), що підігріває повітря та зволожує його до 100% відносної вологості насичуючи його необхідною кількістю водяних парів (змінюючи температуру нагріву можливо змінювати абсолютний вологовміст повітря), ємність з гарячою водою (2), що підігрівається тепловим насосом і ємність для догріву води електричним нагрівачем (3), циркуляційний насос (4), електричний перегрівач повітря (5). Повітря на виході з цієї секції за своєю температурою, та вологовмістом емітує димові гази.

До складу конденсаційного утилізатора входить теплообмінник «повітря-вода» (6), крізь який проходять димові гази і холодна вода, циркуляційний насос (8) таємність з водою (7), яка охолоджується в випарнику теплового насосу.

Тепловий насос «Вода-Вода» (9) забезпечує нагрів та охолодження води в ємностях генератора пароповітряної суміші та конденсаційного утилізатора відповідно. Для забезпечення ефективної роботи в усіх режимах тепловий насос обладнаний терморозширювальним вентилем (ТРВ) з електроприводом (10) та регульованим електроприводом компресора.

СЗДУ складається з керуючого мікроконтролера, датчиків для вимірювання технологічних параметрів та виконавчих пристроїв. В системі присутні датчики температури (Т), тиску (Р), витрати води (GW) та повітря (GA). Розміщення усіх датчиків показано на технологічній схемі (рис.1). Із виконавчих пристроїв в системі присутні керовані циркуляційні насоси (ЦН), вентилятори (В), ТРВ з електроприводом, регулятори потужності нагріву води та повітря (РПН).

Для вимірювання температур води, повітря та фреону в контрольних точках застосовані цифрові датчики температури з діапазоном вимірювання від -50 до +125 °С і точністю вимірювання 0,1 °С. Для вимірювання тиску фреону в системі використані цифрові датчики тиску з діапазоном вимірювання 0-2.5 МПа і точністю 1 кПа. Використання цифрових датчиків, відкаліброваних при виробництві звільняє від необхідності калібрувати систему при налагоджуванні. Для вимірювання витрат води використані крильчасті витратоміри з імпульсним виходом. Для вимірювання витрат повітря використано датчик масової витрати повітря з аналоговим виходом.

СЗДУ з'єднана з двома персональними комп'ютерами (ПК1 та ПК2) через перетворювачі інтерфейсів UART-USB (ПІ). На першому комп'ютері працює розроблена програма, яка реєструє усі виміряні сигнали, відображує їх у вигляді графіків, таблиці, має можливість збереження їх у файлі, та дозволяє керувати усіма виконавчими механізмами як в ручному так і в автоматичному режимі, керуючи ходом експерименту. На другому комп'ютері працює програма Matlab Simulink, яка обмінюється даними з системою керування, отримуючи від неї інформацію з датчиків, та відправляючи керуючі впливи на виконавчі пристрої. У середовищі Simulink складаються та випробуються алгоритми керування окремими контурами регулювання. Таким чином модель системи керування працює віртуально у середовищі Simulink, а в якості моделі об'єкта керування використовується реальна фізична модель.

За допомогою розробленого комплексу проводяться активні експерименти по дослідженню процесів охолодження та конденсації димових газів, режимів роботи теплового насосу, теплообмінників, та інших елементів системи для ідентифікації їх параметрів та розробки математичних моделей, перевірки їх на адекватність та синтезу енергоефективних алгоритмів керування та перевірки їх реальної енергетичної ефективності без застосування газового котла та використання газу для подальшого їх впровадження на котельних реальних об'єктах.

#### Список літературних джерел

1. Панарин В. М. Контроль энерго- и теплотерь на объектах, вырабатывающих тепловую энергию / В. М. Панарин, О. А. Дабдина. // Материалы Всероссийской научно-практической конференции "Молодые учёные в решении актуальных проблем науки". – 2011. – №2. – С. 174–176.
2. Райш М. "Полное использование теплоты сгорания топлива в промышленных котельных." *Аква-Терм* № 3 (43) (2008): 20-24.
3. Ковальчук Д. А. Оценка энергетической эффективности газового конденсационного водогрейного котла как объекта управления / Д. А. Ковальчук, А. В. Мазур, С. С. Гудзь. // *Наукові праці ОНАХТ.* – 2016. – С. 95–98.

С. О. Слободян, к.т.н., проф., І. С. Білюк, к.т.н., доц., А. А. Зубарев, Я. О. Дудков

## УДОСКОНАЛЕННЯ СТЕНДА ДЛЯ НАЛАГОДЖЕННЯ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК

Газотурбінна установка, паливна апаратура, система керування, електродвигун, фізична модель, стенд, частотний перетворювач

Розробка та проектування газотурбінної установки (ГТУ) – складний процес, в якому приймає участь велика кількість фахівців. Одним з найбільш важливих етапів цього процесу є налагодження систем керування турбомашини. Виконання цього етапу на реальних установках пов'язане зі значними складнощами. Тому при налагодженні більшості систем ГТУ використовують фізичні моделі турбомашин на базі аналогових та цифрових обчислювальних машин [1].

На рис. 1 наведена функціональна схема стенду для налагодження паливної апаратури ГТУ.

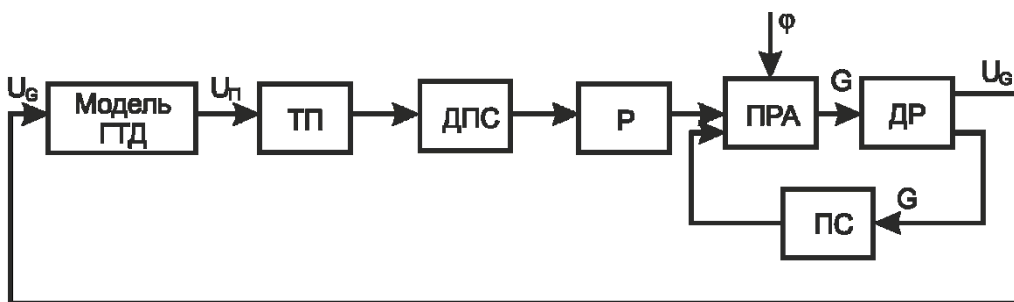


Рис 1 – Функціональна схема стенду для налагодження паливної апаратури ГТУ

Зміна витрати палива регулюється паливо-регулюючою апаратурою (ПРА) у відповідності з керуючим впливом оператора  $\phi$  та частотою обертання вала електродвигуна постійного струму ДПС комбінованої моделі ГТУ. На валу двигуна встановлено редуктор Р, через який приводиться в дію ПРА. До складу ПРА входять: регулятори витрати палива та обертів вала об'єкта регулювання; задатчик зміни інтенсивності задаючої дії; обмежувач зростання тиску палива; перемикач режимів роботи паливних форсунок. Вхідними сигналами до ПРА є задана і реальна частоти обертання вала ДПС на режимі регулювання частоти обертання, а також задана і реальна витрати палива на режимі регулювання витрати. Вихідним сигналом ПРА є витрата палива, яка вимірюється датчиком витрат ДВ. Вихідний сигнал датчика витрат у вигляді напруги  $U_G$  підводиться через перетворювач до моделі ГТУ.

В залежності від динамічних властивостей моделі на виході одержують керуючий сигнал пропорційний частоті обертання вала, що підводиться до автоматизованого ЕП. Аналогова модель газотурбінного двигуна ГТД, тиристорний перетворювач ТП, ДПС та редуктор Р являють собою комбіновану модель ГТУ.

Для удосконалення стенда запропоновано заміну ДПС на сервопривод змінного струму на базі частотного перетворювача VFD, що призначений для прецизійного керування швидкістю обертання вала двигуна, моментом на валу та кутовим положенням вала двигуна.

Виконаний аналіз динаміки запропонованої системи керування показав, що система здатна забезпечувати необхідну точність роботи стенда.

**ВИСНОВКИ.** Запропоноване удосконалення стенда для налагодження паливної апаратури ГТУ дозволяє: 1) керувати роботою стенда в програмному режимі; 2) підвищити точність роботи; 3) збільшити строк служби стенда; 4) зменшити масогабаритні показники установки.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.

1. Леснов В.А. Регулирование и автоматизация турбин [Текст]/ В.А. Леснов - М.: Машиностроение, 1980. – 232 с;
2. Привод-Движение-Управление [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.delta-electronics.info/VFD/>



В. В. Мартинюк, д.т.н., доц.; В. В. Котенев, аспірант

## ПРИЛАД КОНТРОЛЮ ЗАХИСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАГРІВАЧІВ ВОДИ

Ключові слова: достовірність контролю; захисний потенціал; прилад контролю захисного потенціалу антикорозійного захисту; електричний нагрівач води.

Захист металів від корозії - одна з найважливіших народногосподарських проблем, так як втрати від корозії в промисловості, транспорті та інших галузях економіки можна порівняти з витратами на розвиток найбільших галузей промисловості.

Серед металоконструкцій з підвищеною трудомісткістю виготовлення важливе місце займають технологічні та побутові системи для зберігання і обробки технічної та питної води, а також електричні нагрівачі води (ЕНВ).

Швидкість корозії металу у воді, ґрунті та водних розчинах залежить від захисного потенціалу (ЗП) матеріалу в навколишньому середовищі. При зміщенні ЗП в напрямку від'ємних значень швидкість корозії знижується. Встановлення ЗП досягається за допомогою катодного захисту зовнішнім струмом (КЗЗС). Відповідно до німецьких стандартів DIN 50927-2013 [1] антикорозійний захист ЕНВ забезпечується при максимальному значенні  $U_{ЗП\max} = -540\text{ мВ}$ .

Мінімальне значення ЗП  $U_{ЗП\min} = -1,1\text{ В}$  обмежується напругою розкладання води та виділенням водню і кисню з утворенням гримучого газу. Утворення гримучого газу є неприпустимим з міркувань техніки безпеки.

Достовірність контролю ЗП КЗЗС має дуже важливе значення для підвищення ефективності приладів антикорозійного захисту ЕНВ. Незважаючи на те, що прилади контролю ЗП ЕНВ виготовляються багатьма європейськими та американськими фірмами, достовірність контролю ЗП цих приладів є недостатньою, тому ефективність антикорозійного захисту ЕНВ у таких приладах не задовільняє сучасних вимог.

Серед відомих приладів контролю ЗП антикорозійного захисту ЕНВ можна виділити два основні типи: прилади неперервного контролю ЗП ЕНВ та прилади, які працюють по перериванню постійного струму катодного захисту і здійснюють контроль ЗП ЕНВ у проміжках часу, коли струм катодного захисту відсутній [2].

Еквівалентна схема заміщення, яка моделює вимірювальне коло приладу неперервного контролю ЗП ЕНВ, зображена на рис. 1.

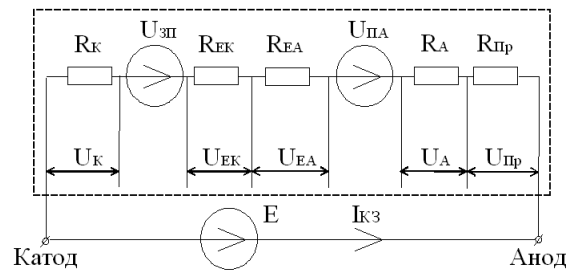


Рис. 1. Еквівалентна схема заміщення, яка моделює вимірювальне коло приладу неперервного контролю ЗП ЕНВ

До складу еквівалентної схеми заміщення, яка моделює вимірювальне коло приладу неперервного контролю ЗП ЕНВ (рис. 1), входять наступні елементи: катод (корпус ЕНВ); опір катоду  $R_K$ ; напруга ЗП  $U_{ЗП}$ ; опір води між електрод порівняння (ЕП) та катодом  $R_{ЕК}$ ; опір води між ЕП та анодом  $R_{ЕА}$ ; напруга поляризації аноду  $U_{ПА}$ ; опір аноду  $R_A$ ; опір з'єднувальних провідників  $R_{Пр}$ ; анод; електро рушійна сила (ЕРС)  $E$ , яка діє між катодом та анодом і створює струму катодного захисту  $I_{КЗ}$  та спади напруг  $U_K$ ,  $U_{ЕК}$ ,  $U_{ЕА}$ ,  $U_A$ ,  $U_{Пр}$  на опорах при проходженні через них струму катодного захисту  $I_{КЗ}$ .

Прилади неперервного контролю ЗП ЕНВ характеризуються низькою достовірністю контролю, тому що при проходженні струму катодного захисту між катодом та анодом виникають відповідні спади напруг  $U_K, U_{EK}$  і  $U_{ЕПА}$ , які спричиняють появу методичної похибки вимірювання ЗП ЕНВ (1).

$$\delta_M = \frac{U_K + U_{EK} + U_{Пр}}{U_{ЗП}} = \frac{I_{КЗ} (R_K + R_{ЭК} + R_{Пр})}{U_{ЗП}}. \quad (1)$$

Методична похибка вимірювання ЗП ЕНВ знижує інструментальну достовірність контролю ЗП ЕНВ, а отже, і загальну достовірність контролю ЗП ЕНВ. Підвищення інструментальної достовірності контролю ЗП ЕНВ можливе за рахунок зменшення методичної похибки вимірювання ЗП ЕНВ, шляхом переривання постійного струму катодного захисту і вимірювання значення ЗП при  $I_{КЗ} = 0$ .

Для підвищення достовірності контролю ЗП ЕНВ автори пропонують структурну схему (рис. 2) приладу, який працює по перериванню постійного струму катодного захисту і здійснює контроль ЗП ЕНВ у проміжках часу, коли струм катодного захисту відсутній.

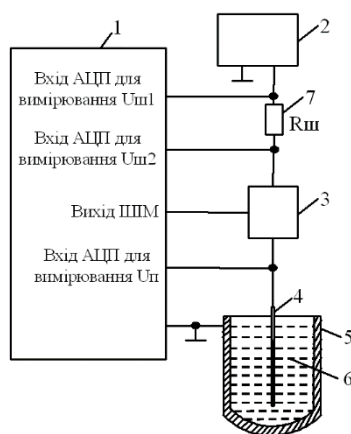


Рис. 2. Структурна схема приладу контролю ЗП ЕНВ по перериванню постійного струму катодного захисту

Структурна схема складається з мікроконтролера 1, джерела постійного струму 2, електронного ключа 3 і 4. Також на рис. 2 зображено ЕНВ 5, вода 6 та шунт для вимірювання струму катодного захисту 7.

Підтримання величини ЗП ЕНВ 5 в межах від -0,54 В до -1,1 В здійснюється шляхом регулювання мікроконтролером 1 за допомогою сигналу керування з виходу широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) мікроконтролера тривалості імпульсів струму, які проходять від джерела постійного струму 2 через електронний ключ 3. Вимірювання величини ЗП  $U_{ЗП}$  ЕНВ5 здійснюється в проміжках часу між пачками імпульсів струму за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера 1.

#### Список літературних джерел

1. DIN 50927-2013 Planning and application of electrochemical corrosion protection of internal surfaces of apparatus, containers and tubes (internal protection) STANDARD by Deutsches Institut Fur Normung E.V. (German National Standard), 08/01/1985.

2. Мартынюк В. В. Анализ приборов контроля защитного потенциала электрических нагревателей воды / В. В. Мартынюк, В. В. Котенев // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – Хмельницький, 2015. – №4. – С. 139 – 143.

**В. Ф. Граняк, к.т.н., В. В. Кухарчук, д.т.н, проф.**

**СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЕРТОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ВЗАЄМОКОРЕЛЯЦІЇ ВІБРОСИГНАЛІВ**

**Ключові слова:** вимірювання, взаємкореляція, обертова електрична машина, віброреакція системи, коефіцієнт взаємкореляції.

Важливою задачею, що виникає в процесі експлуатації силових електричних машин є забезпечення максимальної надійності та тривалості роботи обладнання при мінімальних витратах на його обслуговування. В зв'язку з чим все більшої актуальності набуває розвиток методів опосередкованого контролю технічного стану силового електрообладнання у режимі його експлуатації. Про те, на сьогоднішній день, використання таких підходів обмежується відсутністю не лише чітких математичних моделей, а й високоінформативних ознак, аналіз яких давав би змогу з високою достовірністю виявляти зміни основних технічних параметрів силових обертових машин [1].

Розглядаючи обертову електричну машину у якості об'єкта контролю (ОК), її можна представити як відносно стаціонарну розподілену квазілінеаризовану нерозривну пружну систему з змінними у просторі коефіцієнтами жорсткості [2] на яку діють  $k$  просторово рознесених некомпенсованих механічних сил різної природи, амплітуди та векторного напрямку, що змінюватимуться у функції часу довільним чином. Спрощено структуру такого ОК можна подати у наступному вигляді (рис. 1).

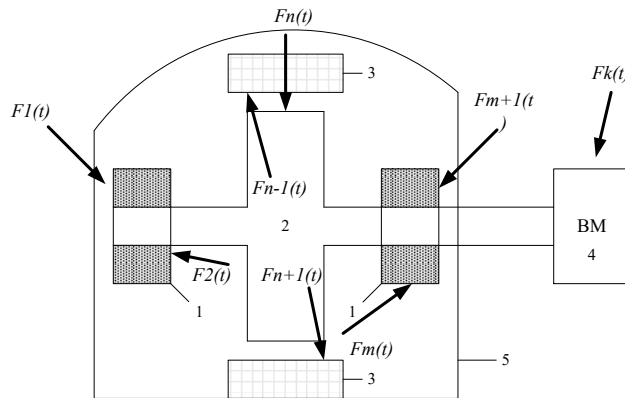


Рис. 1. Спрощена структурна схема обертової електричної машини: 1 – підшипники; 2 – ротор; 3 – статор; 4 – виконавчий механізм; 5 – зовнішній кожух

Для довільно обраного вузла А, що являється частиною ОК, буде справедливою наступна система:

$$\begin{cases} \psi_{A1}(t) = F_1(t) \cdot H_{A1}(t), \\ \psi_{A2}(t) = F_2(t) \cdot H_{A2}(t), \\ \dots\dots\dots \\ \psi_{Ak}(t) = F_k(t) \cdot H_{Ak}(t), \end{cases} \quad (1)$$

де  $F_1(t) - F_k(t)$  – некомпенсовані сили, що діють на електричну машину;  $H_{A1}(t) - H_{Ak}(t)$  – перехідні характеристики відносно збудовуючих сил  $F_1(t) - F_k(t)$ , відповідно;  $\psi_{A1}(t) - \psi_{Ak}(t)$  – реакція системи у точці А на дію збурення у вигляді сили  $F_1(t) - F_k(t)$ , відповідно.

Результуючий вібросигнал у точці А, може бути знайдений виходячи з принципу суперпозиції:

$$\psi_A(t) = \sum_{i=1}^k \psi_{Ai}(t) = \sum_{i=1}^k F_i(t) \cdot H_{Ai}(t). \quad (2)$$

Залежність реакції системи у точці В від реакції системи у точці А матиме наступний вигляд:

$$\psi_{Bi}(t) = \frac{H_{Bi}(t)}{H_{Ai}(t)} \psi_{Ai}(t). \quad (3)$$

Загальна реакція системи у точці В може бути визначеною, як

$$\psi_B(t) = \sum_{i=1}^k \frac{H_{Bi}(t)}{H_{Ai}(t)} \psi_{Ai}(t). \quad (4)$$

Аналогічним чином можуть бути пов'язаними між собою і інші точки, що належать ОК.

Хоча вираз (4) теоретично дає змогу встановити однозначний зав'язок між функціями вібросигналу у різних частинах ОК, що могло б забезпечити можливість на основі відомих реалізацій вібросигналу у зазначених точках відновити вклад кожної із сил  $F_i(t)$  для кожного досліджуваного моменту часу, про те для реальної обертової електричної машини на практиці не можливо визначити не лише конкретні точки прикладання рівнодійних збурюючих сил, а й навіть отримати достовірну інформацію про їх точну кількість [1]. Тож, застосування (4) у чистому вигляді є доволі обмеженим.

Так як некомпенсованих сил  $F_l(t) - F_k(t)$  мають стохастичний характер, то вираз (4) перетвориться у теоретичне обґрунтування корельованості реакціями вібросигналу. При чому, оскільки коефіцієнт жорсткості конструкцій ОК в околі будь-якої його точки буде більшим від нуля, є очевидним, що значення коефіцієнту взаємної кореляції між вібросигналами у досліджуваних вузлах буде зростати при наближенні точки прикладання значущої складової зовнішнього збурення до умовної точки механічного центру між ними, а також буде пропорційним відносному вкладу цієї збурюючої сили у формуванні загального вібросигналу. Також є очевидним і те твердження, що амплітуда вібросигналу окремо взятого вузла буде пропорційною як умовній механічній відстані до точок прикладання значущих збурюючих сил, так і їх абсолютній амплітуді. Отже, цілком доведеною можна вважати гіпотезу про те, що використання коефіцієнтів взаємкореляції вібросигналів між рознесеними у просторі вузлами ОК разом із їх миттєвими амплітудами дозволить отримати масив даних, що міститиме у собі інформацію не лише про амплітуду збурюючих впливів, а й їх просторову локалізацію, що може бути з доволі високою імовірністю пов'язана з причинами їх виникнення.

Враховуючи, що збурюючі сили  $F_l(t) - F_k(t)$  стаціонарними можна вважати лише протягом достатньо невеликого проміжку часу, значення вібросигналу перебуває у функціональній залежності від кутового положення ротора електричної машини [3], а коливання будь-якого пружного тіла відбувається відносно деякого центрального (нульового) положення, то коефіцієнт взаємкореляції між вібросигналами двох розосереджених вузлів може бути знайдений наступним чином:

$$K_{\psi}^*(t_1) = \frac{1}{T} \int_0^T (\psi_A^*(t_1)) (\psi_B^*(t_1)) dt_1. \quad (5)$$

Виходячи з сказаного, структурна схема системи контролю технічних параметрів обертових електричних машин може мати вигляд, наведений на рис. 2.

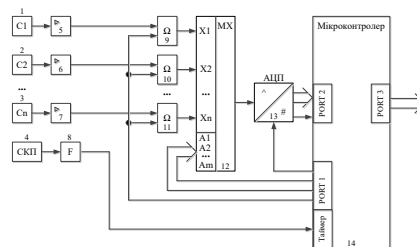


Рис. 2. Структурна схема засобу контролю технічних параметрів обертових електричних машин на основі використання коефіцієнтів взаємкореляції вібросигналів

#### Список літературних джерел

1. Кухарчук В. В. Моніторинг, діагностування, та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів : монографія / В. В. Кухарчук, С. Ш. Каців, В. Г. Мадьяров та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 168 с.
2. Мокін Б. І. Оптимізація електроприводів : навчальний посібник / Б. І. Мокін, О. Б. Мокін – Вінниця: «УНІВЕРСУМ–Вінниця», 2004. – 250 с.
3. Кухарчук В. В. Метод аналітичного розрахунку віброшвидкості у режимі розгону гідроагрегату / В. В. Кухарчук, В. Ф. Граняк, Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – № 2. – С. 66 – 70.

О.Є.Середюк, д.т.н., проф., Н.М.Малісевич, Т.В.Лютенко, аспіранти

## НОВИЙ СПОСІБ КОНТРОЛЮ ТЕПЛОТИ ЗГОРАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

**Ключові слова:** природний газ, теплота згорання, експрес-контроль, температура полум'я, торцевий звужувальний пристрій.

Аспекти підвищення точності обліку природного газу були і залишаються актуальними науково-прикладними завданнями, оскільки вони стосуються не тільки раціонального і економного використання природного газу, але і питань досягнення енергетичної безпеки України.

Враховуючи реалії сьогодення щодо зростання цін на енергоносії, а особливо на природний газ, доцільно для забезпечення підвищення точності його обліку враховувати його теплоту згорання, як це рекомендується новим національним стандартом України [1]. Розрахунки за спожитий природний газ в такому випадку потрібно проводити в одиницях енергії, яка отримується внаслідок його спалювання.

Аналіз сучасних методів і засобів для оцінювання енергії спожитого природного газу показав, що на сьогоднішній день практично відсутні засоби, які би були простими за технічною реалізацією і забезпечували можливість експрес-контролю безпосередньо у споживача.

Метою даного повідомлення є висвітлення запропонованого нами нового технічного рішення щодо способу реалізації експрес-контролю теплоти згорання природного газу.

Технічне рішення [2] стосується прямого методу реалізації способу контролю теплоти згорання природного газу. Його суть зводиться до вимірювання температури полум'я пальника при згоранні суміші постійного об'ємного співвідношення досліджуваного газу з повітрям. При цьому новизною є застосування у пальнику інжекторного забірної пристрою навколишнього середовища і проградуйованого по витраті торцевого звужувального пристрою для підтримання постійного об'ємного співвідношення з одночасним регулюванням надлишкового тиску газу перед пристроєм його згорання і вимірювання температури, густини і вологості природного газу. За цих умов також корегують результат визначення теплоти згорання з врахуванням вологості навколишнього середовища. Для реалізації цього способу враховується конструктивне виконання пальника шляхом запровадження в алгоритм функціонування пристрою відповідного коефіцієнта, який визначають під час попереднього калібрування пальника, яке здійснюють щонайменше на трьох сумішах природного газу відомої теплоти згорання.

Функціональна схема реалізації запропонованого способу містить пальник 1 (рис. 1) з торцевим звужувальним пристроєм 2 подачі природного газу і інжекторним забірним пристроєм повітря з навколишнього середовища 3. Вхідний патрубков пальника 1 приєднано до технологічного вузла 4 регулювання надлишкового тиску і вимірювання температури, густини і вологості природного газу, який в свою чергу приєднаний через кран подачі газу 5 до лінії подачі газу 6. Технологічний вузол 4 обладнаний вузлом регулювання надлишкового тиску 7 і давачем тиску 8, температури 9, густини 10 і вологості 11 природного газу, які через відповідні узгоджуючі пристрої під'єднані до ПЕОМ 12. Давачі температури полум'я пальника 13, тиску 14, температури 15 і вологості 16 також через відповідні узгоджуючі пристрої під'єднані до ПЕОМ 12.

Об'єм природного газу, що проходить через торцевий звужувальний пристрій для визначення його об'ємної теплоти згорання, розраховують за формулою:

$$q_C = 5,9736 \cdot 10^{-2} \alpha \varepsilon d^2 K \varphi \sqrt{\frac{P \Delta p}{\rho_C T K}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (1)$$

де  $q_C$  – об'ємна витрата газу через звужувальний пристрій,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт витрати звужувального пристрою;  $\varepsilon$  – поправний множник на розширення газу;  $d$  – діаметр отвору звужувального пристрою пальника;  $\Delta p$  – перепад тиску на звужувальному пристрої;  $\rho_C$  – густина природного газу за стандартних умов;  $K_\varphi$  – коефіцієнт, який враховує вологість природного газу;  $P$ ,  $T$ ,  $K$  – абсолютний тиск, абсолютна температура і коефіцієнт стисливості природного газу за умов звужувального пристрою відповідно.

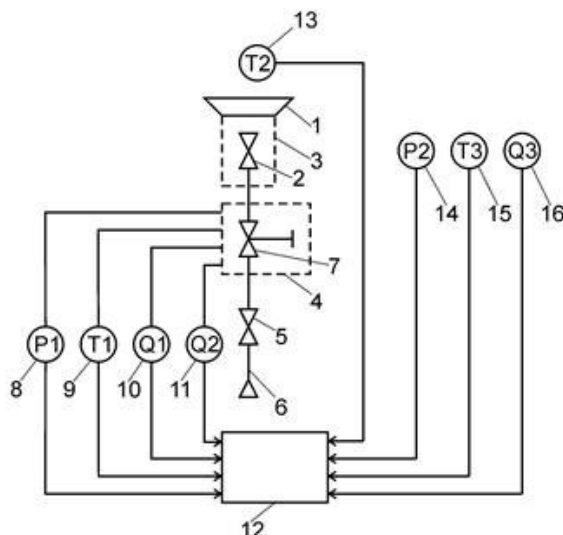


Рис.1 – Функціональна схема прямого методу контролю теплоти згорання природного газу

Теплоту згорання  $H_C$  природного газу за стандартних умов визначають за формулою:

$$H_C = (At - BK_I \phi) q_C \tau, \text{ Дж/м}^3, \quad (2)$$

де  $A$  – коефіцієнт конструктивного виконання пальника;  $t$  – температура полум'я пальника;  $B$  – коефіцієнт теплоти випаровування води повітря;  $K_I$  – коефіцієнт інжекції інжекторного пристрою пальника;  $\phi$  – відносна вологість повітря навколишнього середовища;  $q_C$  – об'ємна витрата газу через звужувальний пристрій;  $\tau$  – тривалість пропуску об'єму газу через пальник.

При проведенні контролю теплоти згорання, безпосередньо запропонованим способом, під'єднують джерело досліджуваного природного газу до лінії його подачі 6 до попередньо прокаліброваного пальника 1, скомпонованого з інжекторним забірним пристроєм 3 забору навколишнього повітря і проградуїтованим по витраті торцевим звужувальним пристроєм 2, через технологічний вузол 4 регулювання надлишкового тиску і вимірювання температури, густини і вологості природного газу. Далі відкривають кран 5 подачі газу до пальника і запалюють пальник. Після цього вузлом регулювання 7 регулюють до необхідного значення перепад тиску природного газу на звужувальному пристрою 2 пальника 1 і вимірюють температуру полум'я давачем 13. Після цього вимірюють температуру, густину і вологість природного газу давачами 9, 10, 11 і параметри повітря навколишнього середовища (тиск, температура, вологість) давачами 14, 15 і 16 відповідно.

Далі за попередньо визначеними для даного пальника значенням коефіцієнта конструктивного виконання  $A$  за формулами (1) і (2) здійснюють розрахунок теплоти згорання досліджуваного природного газу.

Не дивлячись на перший погляд на просту реалізацію цього способу він має ряд особливостей при практичному застосуванні, насамперед безпосереднє врахування температурного фактора при згоранні газу, чим досягається підвищення точності визначення теплоти згорання газу.

Пропонований спосіб підвищує точність і достовірність контролю теплоти згорання природного газу з можливістю його реалізації безпосередньо у газоспоживачів, що сприяє суттєвій економії затрат на проведення вимірювань без матеріально затратних операцій відбору проб природного газу і їх транспортування до відповідних лабораторій з контролю якості природного газу. Спосіб дозволяє контролювати теплоту згорання газу будь-якого компонентного складу, в тому числі за наявності в ньому води і неуглеводневих компонентів.

**Висновки.** Наведене технічне рішення відкриває нові шляхи створення засобів контролю теплоти згорання природного газу, що сприяє впровадженню нових національних стандартів України для обліку природного газу в одиницях енергії.

#### Список літературних джерел

1. Природний газ. Визначення енергії: ДСТУ ISO 15112:2009. – [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 48 с.
2. Пат. 112737 С2 Україна, МПК G01N25/20 (2006.01). Спосіб експрес-визначення теплоти згорання природного газу / Середюк О.Є., Лютенко Т.В., Малісевич Н.М. – №а201512215; заявл. 09.12.2015; опубл. 10.10.2016; Бюл. № 19.

М.О.Катаєва, к.т.н., Н. В.Михалко

## РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ АНОМАЛЬНИХ ВІДХИЛЕНЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АВІАЦІЙНОЇ ДЕТАЛІ

Ключові слова: адаптивний спосіб виявлення аномальних значень, вимірювання геометричних параметрів, імітаційне моделювання, метод штрафних значень, ймовірність помилки I і II роду.

При вирішенні завдань статистичного аналізу і, зокрема, при обчисленні оцінок параметрів розподілів, проблема наявності у результатах вимірювання аномальних значень має надзвичайно важливе значення. Аналітично визначені значення основних параметрів методу виявлення аномальних значень і проаналізована їх ефективність при аналізі стаціонарних випадкових процесів з адитивною шумовою складовою. Запропонований метод базується на проведенні імітаційного моделювання залежностей оцінок ймовірності помилки першого роду  $\alpha$  і ймовірності правильного виявлення  $\beta$  від величини аномальних значень та дослідженні залежності коефіцієнта  $A$  від обсягу вибірки  $L$  та від значення середньоквадратичного відхилення випадкового процесу  $\sigma_{\text{ш}}$  для різних стаціонарних процесів при апріорно фіксованих значеннях ймовірності помилки першого роду  $\alpha$ .

З аналізу отриманих залежностей при різних фіксованих значеннях ймовірності помилки першого роду  $\alpha$  зі збільшенням обсягу вибірки  $L$  оцінки коефіцієнту  $A$  прагне до деякого постійного значення і не залежить від значення середньоквадратичного відхилення випадкового процесу. Оцінки коефіцієнта  $A$  для вибірок  $L < 5$  зростають в середньому на 5%. Так само незначною є залежність коефіцієнта  $A$  від обсягу вибірки  $L$  і середньоквадратичного відхилення  $\sigma_{\text{ш}}$ , коли стаціонарний випадковий процес представлений рівномірним і релеєвським законами щільності розподілу ймовірності. Таким чином, проведені дослідження показують, що значення оцінок коефіцієнта  $A$  для розглянутих законів розподілу випадкових процесів залежать тільки від апріорно заданого значення ймовірності помилки першого роду  $\alpha$ .

Отримані результати дослідження залежності коефіцієнта  $A = f(L, \sigma_{\text{ш}}, \alpha)$  дозволяють використовувати при адаптації порогового значення замість постійного значення коефіцієнта  $A$  його значення, яке обчислюється відповідно до рівняння:  $A(\alpha) = 2,16 - 6,3\alpha + 7,32\alpha^2$ . Використання цього рівняння в оцінці порогового значення дозволяє використовувати запропонований спосіб виявлення аномальних значень при фіксованому значенні ймовірності помилки першого роду  $\alpha$ . Робота блок-схеми програми, що реалізує алгоритм адаптивного способу виявлення аномальних значень при апріорно фіксованому значенні ймовірності помилки першого роду полягає в наступному: запам'ятовується вхідна реалізація значень вхідного процесу  $Y(t_k) = Y_k$ , де  $t_k = k \cdot T$  та  $k = \overline{1, N}$ ,  $T$  – крок дискретизації,  $N$  - обсяг вхідної реалізації; задаються значення ймовірності помилки першого роду  $\alpha$ , мінімальний інтервал розбиття  $\nabla$ , кількість розбиттів  $l$  і  $p$ ; визначаються оцінки  $\bar{\lambda}_{kj}^{(i)}$ , за рахунок апроксимації  $Y_{kj}^{(i)}$  на кожному з інтервалів розбиття  $\Delta_j^{(i)}$  поліномом не вище другого ступеня, де  $k = \overline{1, N}$  та  $j = \overline{1, l}$ ; знаходяться різниці  $S_{kj}^{(i)} = Y_{kj}^{(i)} - \bar{\lambda}_{kj}^{(i)}$ ,  $k = \overline{1, N}$  та  $j = \overline{1, l}$ ; визначаються оцінки середньоквадратичного відхилення  $\bar{\sigma}_j^{(i)}$  для  $S_{kj}^{(i)}$  на кожному з інтервалів розбиття,  $\Delta_j^{(i)}$  і задається граничне значення  $\varepsilon_j^{(i)} = f(\alpha, \bar{\sigma}_j^{(i)})$ , де  $j = \overline{1, l}$ ; кожне значення вхідний реалізації  $Y_{kj}^{(i)}$  порівнюється з пороговим значенням  $\varepsilon_j^{(i)} = f(\alpha, \bar{\sigma}_j^{(i)})$  на кожному з інтервалів розбиття  $\Delta_j^{(i)}$  і, якщо  $Y_{kj}^{(i)} \geq \varepsilon_j^{(i)}$ , то відбувається накопичення штрафних значень  $g_k^{(i)} = g_k^{(i)} + 1$ , де  $g_k^{(i)}$  – ряд штрафних значень,  $k = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, l}$  та  $i = \overline{1, p}$ ; дана процедура повторюється  $p$ -разів, в результаті чого виходить сумарний ряд штрафних значень  $g_k^* = \sum_{i=1}^p g_k^{(i)}$ , де  $k = \overline{1, N}$  та  $i = \overline{1, p}$ ; визначається максимальне значення ряду  $\max(g_k^*) = G$ , де  $k = \overline{1, N}$ ; перевіряється умова: якщо  $g_k^* > 0,7G$ , то  $k$ -те значення з вхідної реалізації  $Y_k$ , є аномальним значенням.

До переваг методу виявлення аномальних значень можна віднести те, що застосування двопорогового критерію прийняття рішення про аномальність значення процесу дозволяє отримати результати, при яких із збільшенням величини аномальних значень, оцінки ймовірності помилки першого роду  $\alpha$  прагнуть до мінімальних значень, а оцінки ймовірності правильного виявлення  $\beta$  прагнуть до максимальних значень, за рахунок чого запропонований метод має високу ефективність в умовах апріорної невизначеності.

В.І.Зимовець, аспірант

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ НАВЧАННЯ СИСТЕМИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ШАХТНОЇ ПІДЙОМНОЇ МАШИНИ

Ключові слова: шахтна підйомна машина, система функціонального контролю, оптимізація, параметр поля контрольних допусків, машинне навчання, інформаційний критерій.

Основною тенденцією подальшого розвитку гірничодобувної промисловості є широке застосування інтелектуальних інформаційних технологій. На зміну традиційним методам математичного моделювання керованих процесів приходять алгоритмічні методи, побудовані на ідеях машинного навчання та розпізнавання образів. При цьому одним із актуальних напрямків є застосування в системах керування інтелектуальних інформаційних технологій аналізу даних для функціонального контролю і прогнозування технічного стану гірничого обладнання. Це дозволяє організувати технічне обслуговування гірничодобувного комплексу за його дійсним станом, а не за результатами напрацювання на відмову або пройденого часу експлуатації. Організація неперервного моніторингу технічного стану гірничого обладнання і оперативна його класифікація дозволяють крім чисто економічного вигаду суттєво підвищити безпеку виробництва і своєчасно запобігти аварійну ситуацію. Особлива увага в гірничодобувній промисловості приділяється безпечній роботі шахтних підйомних машин. Відомі інтелектуальні автоматизовані системи керування шахтними підйомними машинами в основному використовують штучні нейронні мережі. Але основний недолік штучних нейронних мереж пов'язаний із зниженням їх достовірності розпізнавання при великих обсягах даних, що ускладнює їх застосування для розв'язання задач прогностичного керування.

Одним із перспективних шляхів підвищення функціональної ефективності керування приводом шахтної підйомної машини є використання ідей і методів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ – технологія), що ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності системи керування шляхом введення в процесі її навчання додаткових інформаційних обмежень [1]. Основна перевага інформаційно-екстремального машинного навчання полягає у побудові геометричних вирішальних правил, які є практично нечутливими до багатовимірності простору ознак розпізнавання. В праці [2] розглядалася задача навчання системи функціонального контролю електроприводу за базовим інформаційно-екстремальним алгоритмом. При цьому побудовані гіперсферичні вирішальні правила не забезпечували високу функціональну ефективність машинного навчання через неоптимальні в інформаційному розумінні контрольні допуски на ознаки розпізнавання.

В рамках ІЕІ-технології виконано інформаційний синтез здатної навчатися системи функціонального контролю електроприводу шахтної підйомної машини з оптимізацією системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання. На базі запропонованої категорійної моделі розроблено і програмно реалізовано інформаційно-екстремальний алгоритм машинного навчання з оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

Реалізація розробленого алгоритму машинного навчання здійснювалася на прикладі оцінки поточного функціонального стану вузлів електроприводу шахтної підйомної машини. Вхідна навчальна матриця формувалася шляхом впорядкованого зчитування інформації з датчиків. При цьому інтервал зчитування дорівнював 200 *мс*. Алфавіт складався з трьох класів розпізнавання: клас  $X_1^0$  характеризував функціональний стан електроприводу, який відповідав нормальному режиму; клас  $X_2^0$  – функціональний стан з підвищеною температурою підшипників; клас  $X_3^0$  – функціональний стан з підвищеною температурою обмоток електродвигуна. Навчальна матриця складалась із 40 структурованих векторів-реалізацій, ознаки яких вимірялися в циклі підйом-спуск. Оскільки ознаки розпізнавання мали різні шкали виміру, було виконано нормалізацію за методом зведених шкал.

На рис. 1 показано графік залежності усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного критерію  $E$  від параметра *delta* поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання, одержаний у процесі їх оптимізації за алгоритмом, при якому контрольні допуски



змінювалися одночасно для всіх ознак розпізнавання. При цьому параметр  $\delta$  дорівнював половині симетричного поля контрольних допусків. На графіку світлою ділянкою позначено робочу (допустиму) область визначення функції інформаційного критерію, в якій помилки першого та другого роду менше 0,5.

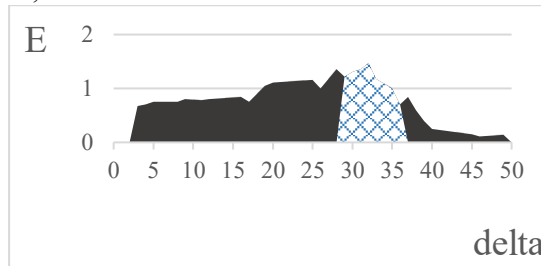


Рис. 3. Графік залежності інформаційного критерію від параметра  $\delta$

Аналіз рис. 1 показує, що оптимальне значення параметру поля контрольних допусків дорівнює  $\delta^* = \pm 33\%$  відхилень від номінальних значень ознак розпізнавання при максимальному значенні ненормованого критерію  $E_{\max} = 1,42$ , яке обчислювалося в робочій області визначення його функції.

На рис. 2 показано графіки залежності інформаційного критерію від радіусів контейнерів класів розпізнавання, які відновлювалися в радіальному базисі бінарного простору ознак при оптимальному значенні параметра  $\delta$ .

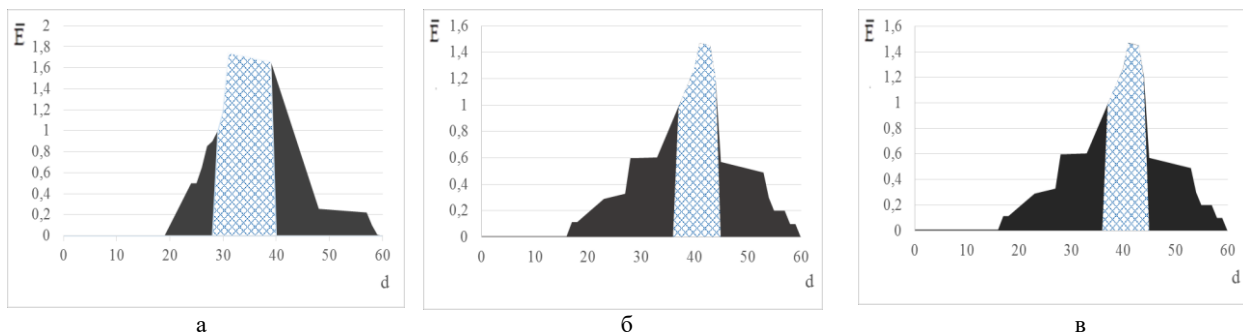


Рис. 2. Графіки залежності критерію оптимізації від радіусів контейнерів класів розпізнавання: а – клас  $X_1^0$ ; б – клас  $X_2^0$ ; в – клас  $X_3^0$ ;

Аналіз рис. 2 показує, що оптимальні значення радіусів контейнерів класів розпізнавання дорівнюють: для класу  $X_1^0$  –  $d=34$  – (тут і далі в кодових одиницях); для класу  $X_2^0$  –  $d=41$  і для класу  $X_3^0$  –  $d=33$ .

За отриманими оптимальними геометричними параметрами контейнерів класів розпізнавання було побудовано гіперсферичні вирішальні правила, які дозволяють оцінювати функціональний стан системи контролю функціонального стану вузлів шахтної підйомної машини із середньою повною ймовірністю прийняття правильних рішень  $P_t^* = 0,89$ , тобто вони не є безпомилковими за навчальною матрицею. Для підвищення функціональної ефективності машинного навчання в подальшому планується оптимізувати додаткові параметри навчання.

#### Список джерел інформації

1. Довбиш А.С. Основи проектування інтелектуальних систем / А.С. Довбиш. – Суми: Видавництво СумДУ, 2009. – 172 с.
2. Зимовець В. І. Система функціонального контролю привода шахтної підйомної установки, здатної навчатися / В. І. Зимовець, А. С. Чирва, О. І. Марищенко // Журнал інженерних наук, 2016. –Том 3. –№2. – С. 15 – 19.

**Б. Г. Шабашкевич к.т.н, Ю. Г. Добровольский д.т.н.**

## **ПРИЛАДИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА ФОТОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЕННЯ**

Ключові слова: оптичне випромінення, фотометрія, радіометрія, фотометр, радіометр, освітленість, енергетична освітленість.

Для забезпечення контролю фотометричних та енергетичних параметрів оптичного випромінення в діапазоні 0,2 – 25 мкм нашим підприємством НВФ «Тензор» розроблена низка приладів, установок та стендів [1].

Для вимірювання освітленості, створюваної джерелами природного і штучного світла, яскравості самосвітних та несамосвітних об'єктів та коефіцієнта пульсації джерел світла, створено фотометр (цифровий люксметр-яскравомір-пульсметр) Екотензор-03, діапазон вимірювання освітленості якого складає  $10^{-2}$  -  $2 \cdot 10^5$  лк, а яскравості 1 -  $2 \cdot 10^5$  Кд/м<sup>2</sup>, межі основної допустимої відносної похибки вимірювання освітленості складають  $\pm 5$  %, яскравості -  $\pm 7$  %. Діапазон вимірювання коефіцієнту пульсації складає 1 – 100 % у діапазоні частот від 10 до 300 Гц. Межі основної допустимої відносної похибки вимірювання коефіцієнту пульсації  $\pm 10$  %.

Для вимірювання малих рівнів освітленості (від  $10^{-5}$  лк) створено люксметр-яскравомір Тензор-25. Межі основної допустимої відносної похибки вимірювання освітленості  $\pm 10$  %

Для вимірювання сили світла зовнішніх світлових приладів дорожніх транспортних засобів відповідно до ДСТУ 3649-97 створено фотометр Тензор-26М. Діапазоном вимірювання 0,1 –  $2 \cdot 10^5$  Кд при межі основної допустимої відносної похибки вимірювання  $\pm 5$  %.

Для контролю питомого коефіцієнта сили світла ( $K$ ) матеріалів зі світлоповертаючим ефектом на відповідність ДСТУ 2586-94 та ДСТУ 4100-2002 розроблена спеціалізована установка ИДНМ4.023.000.000. Діапазон вимірювання складає від  $10^{-1}$  до  $10^4$  (кд/(лк·м<sup>2</sup>)). Межі основної допустимої відносної похибки вимірювань питомого коефіцієнта сили світла  $\pm 15$  %.

Вимірювання коефіцієнтів пропускання та відбивання віконного скла у видимому діапазоні забезпечує вимірювач Тензор-21. Межа абсолютної похибки вимірювань коефіцієнта пропускання не більше 1 %, коефіцієнта відображення не більше 2 %. Для здійснення аналогічних вимірювань у ультрафіолетовому діапазоні спектру розроблений вимірювачі Тензор-22 (Межа абсолютної похибки вимірювань 3 %), а для вимірювання відбивання у інфрачервоному діапазоні спектру - Тензор-21ИК (Межа абсолютної похибки вимірювань 3 %).

Контроль енергетичної освітленості в ультрафіолетовій області спектру, створюваної ртутними, дейтерієвими та дуговими джерелами забезпечує ультрафіолетовий радіометр-дозиметр Тензор-71. Прилад забезпечує вимірювання енергетичної освітленості окремо у кожному з УФ діапазонів А, В, С одним приладом у діапазоні  $10^{-4}$  -  $2 \cdot 10^2$  Вт/м<sup>2</sup> з межею основної допустимої відносної похибки вимірювання  $\pm 10$  %. Діапазон вимірювання енергетичної дози складає від 1 до  $10^7$  Дж/м<sup>2</sup>. Межі основної допустимої відносної похибки радіометра, не більш  $\pm 15$  %. Прилад дозволяє коректно вимірювати енергетичну освітленість та дозу, створювану будь яким джерелом ультрафіолетового випромінювання за допомогою функції «джерело споживача», в отому числі для контролю світіння ртутних бактерицидних ламп з робочою довжиною хвилі 254 нм.

Для контролю параметрів мікроклімату створено відповідний вимірювач ЕКОТЕНЗОР-МК, до складу якого входять зонд для вимірювання температури, вологості повітря, тиску, швидкості потоку повітря, індексу теплового навантаження середовища, а також зонд для вимірювання інтенсивності теплового випромінення.

Для вимірювання енергетичної освітленості від 10 до  $2 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup> в діапазоні 0,2 – 25 мкм створено радіометр РАТ-2П-Ф, межі основної допустимої відносної похибки вимірювання якого складають  $\pm 6$  %.

Вимірювальні блоки згаданих приладів, виконані в однотипних портативних корпусах, мають індикацію на базі рідкокристалічних дисплеїв, функцію збереження даних та передачі їх до комп'ютера, характеризуються низькою споживаною потужністю.

Для атестації, калібрування, первинної і періодичної перевірки приладів що випускаються, НВФ "Тензор" у співпраці з Чернівецьким Центром стандартизації, метрології і сертифікації та ННЦ "Інститут метрології" (м. Харків) створений комплекс установок. Ідеологія побудови вимірювань

полягає у передачі одиниці засобу вимірювальної техніки на відповідній установці, а потім, визначається динамічний діапазон приладу за допомогою стенду для визначення нелінійності чутливості ЗВТ.

Для калібрування фотометрів застосовується комплекс для перевірки і градування оптичних приладів у видимому діапазоні, який складається з установки для вимірювання фотометричних параметрів оптичних приладів ІДНМ4.003.00.00, укомплектованої еталонними вимірювальними фотометричними головками власного виробництва з основною відносною похибкою вимірювань  $\pm 2,5\%$ . Калібрування здійснюється при освітленості 100 лк.

Разом із стендом для створення стабільних потоків випромінювання при вимірюванні енергетичних характеристик і нелінійності чутливості електронно-оптичних приладів ІДНМ 4.004.00.00, який забезпечує нестабільність створюваного потоку випромінювання  $\pm 0,5\%$ , комплекс забезпечує наступні характеристики:

- діапазон створюваних (установлення) освітленостей - від  $10^{-3}$  до  $2 \cdot 10^5$  лк; допустима основна відносна похибка установлення освітленості знаходиться в межах  $\pm 3\%$ .

- діапазон установлення яскравості від 7 до  $1,2 \cdot 10^5$  кд/м<sup>2</sup>; допустима основна відносна похибка установлення яскравості знаходиться в межах  $\pm 3\%$ .

- діапазон вимірювання сили світла джерел випромінювання від 1 до  $2 \cdot 10^5$  кд; допустима основна відносна похибка вимірювання сили світла знаходиться в межах  $\pm 3\%$ .

Для градування і калібрування засобів вимірювань енергетичної освітленості (інфрачервоних радіометрів) у діапазоні від 0,2 мкм до 25 мкм створено відповідний комплекс, який складається з установки ІДНМ4.009.00.00 укомплектованої еталонними засобами вимірювання типу ПП з основною відносною похибкою вимірювань  $\pm 1,5\%$  та спектральним діапазоном вимірювання 0,2 – 24 мкм (калібрування здійснюється при значенні енергетичної освітленості 240 Вт/м<sup>2</sup>) та установки для вимірювання енергетичних характеристик приймачів та електронно-оптичних приладів, чутливих у ІЧ-діапазоні спектру ІДНМ4.004.00.00-01, яка забезпечує нестабільність потоку випромінювання не більше  $\pm 1,0\%$ , вона забезпечує рівень створюваної енергетичної освітленості до 20000 Вт·м<sup>-2</sup>.

Для перевірки засобів вимірювань енергетичної освітленості в ультрафіолетовому діапазоні створена двохтурельна установка на базі ртутної лампи ДРТ125 для формування потоків випромінювання в УФ-діапазоні (освітлювач УФ-діапазону) ІДНМ4.020.00.00-01

Калібрування здійснюється на наступних довжинах хвиль:  $\lambda_{1\max} = (254 \pm 2)$  нм;  $\lambda_{2\max} = (297 \pm 2)$  нм;  $\lambda_{3\max} = (313 \pm 2)$  нм;  $\lambda_{4\max} = (365 \pm 2)$  нм при рівені енергетичної освітленості близько 100 мВт/м<sup>2</sup>. Нестабільність потоку випромінювання не більше  $\pm 10\%$ .

Динамічний діапазон ( $10^{-4}$  - 200 мВт/м<sup>2</sup>) перевіряється за допомогою стенду ІДНМ4.004.00.00.

Для контролю ЗВТ, призначених для вимірювання коефіцієнту пульсації джерел світла, створена установка для вимірювання коефіцієнта пульсації джерел оптичного випромінювання ІДНМ4.024.00.00. Установка містить джерело модульованого потоку випромінювання з частотою від 50 Гц до 200 Гц і немодульованого. Середнє значення освітленості складає від 10 лк до 1000 лк. Похибка вимірювання коефіцієнта пульсації не більше  $\pm 5\%$ .

Створено також автоматизований вимірювальний спектральний комплекс ІДНМ4.011.00.00. Спектральний діапазон складає 0,2 – 2 мкм. Основна відносна похибка вимірювань спектральної характеристики ЗВТ  $\pm 6,0\%$ . Комплекс укомплектований еталонними радіометричними головками також власного виробництва.

Таким чином в Україні створений парк вітчизняних, сучасних засобів вимірювальної техніки для вимірювання радіометричних і фотометричних характеристик оптичного випромінювання в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній областях спектру, вимірювачів параметрів мікроклімату та метрологічне обладнання для забезпечення серійного випуску вище наведених приладів.

Список літературних джерел.

1. Паспортні дані на обладнання ТОВ «НВФ «Тензор». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://tenzor.ua/products/izmerenie-opticheskikh-harakteristik/>

**Р. М. Джала, д.т.н., ст.н.с.; Б. Я. Вербенець, к.т.н.; М. І. Мельник, к.т.н.;  
Ю. М. Пугач, провідний інженер; О. М. Семенюк, провідний інженер**

## **КОНТРОЛЬ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ ЗА ВИМІРАМИ ЗМІННИХ І ПОСТІЙНИХ НАПРУГ**

Захист від корозії, метал у середовищі, поляризаційний потенціал, метод, вимірювання, контроль, прилад

Електрохімічний захист від корозії металевих конструкцій в електропровідному середовищі здійснюють електричною поляризацією. Зокрема, сталеві підземні трубопроводів (ПТ, якими транспортують газ, нафту, воду, сировину і продукти хімічної промисловості) поляризують установками катодного захисту (УКЗ) або протекторами [1]. Основним критерієм захисту вважають поляризаційний потенціал (ПП), який повинен знаходитись у межах від  $-0,85$  до  $-1,15$  V відносно мідносльфатного електрода порівняння (ЕП). За недостатньої поляризації метал кородує. За перевищення на захисній поверхні виділяється водень, який зумовлює відшарування органічних захисних покриттів та водневе окрихчення, розтріскування сталі. Аварійність газопроводів з причин корозії становить 27 % (відносно всіх аварій за 25 років) і збільшується з часом. Тому ПП треба контролювати і підтримувати у певних межах, які забезпечують необхідний захист від корозії.

Але виміряна високоомним вольтметром різниця потенціал між ЕП і металом підзахисної споруди, містить, крім поляризаційного складника, ще й омичний спад напруги внаслідок проходження катодного струму через ефективний опір між ЕП і металом конструкції [2]. Та тільки поляризація поверхні обумовлює ефект електрохімічного захисту. Тому, для точного регулювання ПП підзахисної конструкції відносно ЕП, з вимірною різниці потенціалів треба вилучати омичного складника [1, 2].

Важливість проблеми спричинила низку досліджень і розробок методів і засобів визначення ПП [2]. Просте наближення ЕП до поверхні металу, що використовують в лабораторних умовах для зменшення омичного падіння потенціалу, часто неприйнятне технологічно та не усуває можливих похибок, через високий опір покриву металу. За компенсаційним методом на поверхню металу подають струм, прагнучи відсутності струму через вимірювальний ЕП. Крім складності вимірювальних схем і процедури, компенсуючий струм може змінити потенціал контрольованої поверхні. За методом допоміжного електрода ЕП встановлюють біля поверхні металу, що трудомістко і забезпечує лише локальний контроль, а тому мало придатне для великогабаритних конструкцій та трубопроводів. З часом електроди змінюють свій потенціал, що спричинює додаткові похибки.

За найбільш поширеними релаксаційними методами використовують вимкнення чи перемикання джерела поляризації [1]. Для цього кожному УКЗ (яка діє у зоні контролю) треба обладнати спеціальними комутаторами та синхронізувати їх, що ускладнює вимірювання і значно збільшує трудозатрати. При цьому не завжди можна бути певним, що вимикачі встановлено на всіх установках, які діють у зоні контролю. Крім того, цим методам властиві похибки, спричинені затримками моменту міряння, вирівнювальними струмами, гетерогенністю системи метал-ізоляція-грунт, блукальними струмами, яких неможливо позбутись [2].

Ці недоліки відомих методів усуває запропонований [3] метод визначення ПП з вилученням омичного складника за вимірами постійних і змінних електричних напруг. Для вилучення омичного складника з виміру різниці потенціалів  $U_{MG}$  значення змінної напруги  $V_{MG}$  приводимо у відповідність до постійної з допомогою коефіцієнта гармоніки, визначеного за вимірами постійної  $U_{GG}$  і змінної  $V_{GG}$  напруг на одному і тому ж опорі між ЕП і допоміжним електродом (ДЕ). Контрольований ПП визначаємо за формулою

$$U_p = U_{MG} - V_{MG} \cdot U_{GG} / V_{GG}.$$

Запропонований методу реалізовано в апаратурі ВПП [4, 5], яка складається з чотирьох вимірювальних каналів. Для міряння постійних напруг застосовано підсилювач з високим входним опором і малим зміщенням вихідної напруги та детектор полярності. Для міряння змінних напруг уведено попередні підсилювачі з високим входним опором і масштабні підсилювачі, для виділення корисного сигналу від завад – смугові фільтри, для випрямлення змінного сигналу випростовувач. З аналогових каналів сигнали подаються на входи аналого-цифрового перетворювача.

Процес вимірювань автоматизовано. Роботою апаратури керує мікропроцесор за спеціально розробленою програмою з обчисленням ПП за наведеною формулою. Координати місць вимірювань визначає вмонтований в апаратуру модуль GPS, що суттєво спрощує процедуру документування. Забезпечено запис вимірів у пам'ять і можливості перегляду отриманих результатів на цифровому дисплеї. Реалізовано передачу даних з приладу через інтерфейс у комп'ютер для подальшого опрацювання і документування.

Проведені метрологічні дослідження показали що похибка визначення ПП не перевищує 2 %, що відповідає нормативним вимогам до апаратури для обстежень ПТ.

Застосування апаратури ВПП дають змогу контролювати основні характеристик активного (електрохімічного) і пасивного (ізоляція) захисту від корозії металевих конструкцій:

- визначати ПП за вимірами постійних і змінних електричних напруг;
- виявляти пошкодження захисного покриття за вимірами поперечного градієнта потенціалу;
- шукати місця наскрізних пошкоджень ізоляції за вимірами змінних напруг;
- використовувати при визначенні перехідного опору.



Рис. 1. Загальний вигляд апаратури ВПП.

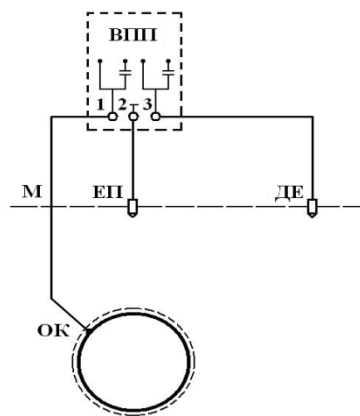


Рис. 2. З'єднання входних клем ВПП для вимірювань поляризаційного потенціалу об'єкта контролю (ОК).

Натурні випробування на трасах підземних магістральних газопроводів підтвердили придатність ВПП для пошуку пошкоджень ізоляції ПТ як за різницею потенціалів (метод градієнта), так і на змінному струмі (метод Пірсона) а також значно спростити процедуру визначення (за новим методом [3]) поляризаційного потенціалу, незадовільні значення якого вказують місця корозії металоконструкцій.

Крім цього, ВПП у комплексі з безконтактними вимірами струмів (БВС) дають змогу вперше визначати розподіли густини постійної компоненти струму установки катодного захисту та перехідного питомого опору ізоляційного покриття на різних ділянках підземних трубопроводів [6].

#### Список літературних джерел

1. ДСТУ 4219-2003. Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії. – К.: Держстандарт України, 2003. – 74 с.
2. Dzhala R. M., Verbenets' B. Ya., Melnyk M. I. Measurement of electrical potentials for diagnosing corrosion protection of metal structures // Materials Science. – 2016. – Vol. 52, № 1. – P. 140-145.
3. Патент 43130А. Україна. G01R19/00, C23F13/00. Спосіб визначення поляризаційного потенціалу підземної споруди / Р. М. Джала. – Опубл. 15.11.2001; Бюл. 10.
4. Патент на винахід № 113784. МПК G01R19/25, G01N17/02, C23F13/04. Пристрій для вимірювань постійних і змінних електричних напруг та поляризаційного потенціалу / Р. М. Джала, Б.Я. Вербенець, М.І. Мельник / ФМІ НАН України. – Заявка а201504833 подано 18.05.2015. Опубліковано 10.03.2017, Бюл. № 5.
5. Мельник М. І. Розроблення методу і засобів контролю поляризаційного потенціалу підземних трубопроводів. – Автореферат дис. ... к. т. н. 05.11.13 – Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів, 2017. – 20 с.
6. New methods for the corrosion monitoring of underground pipelines according to the measurement of currents and potentials/ R.M. Dzhala, B.Ya. Verbenets', M.I. Mel'nyk, A.B. Mytsyk, R.S. Savula, O. M. Semenyuk // Materials Science. – Vol. 52, № 5. – March 2017. – P. 732-741.

М.В. Бібик, аспірант;

### ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ ЕНЕРГОБЛОКУ ТЕПЛОЦЕНТРАЛІ

Ключові слова: інформаційно-екстремальна інтелектуальна технологія, машинне навчання, оптимізація, інформаційний критерій, енергоблок, теплоелектроцентрально.

Одним із перспективних шляхів підвищення функціональної ефективності та надійності існуючих теплоелектроцентрально (ТЕЦ) є застосування інтелектуальних систем керування на основі машинного навчання та розпізнавання образів [1]. Але відомі методи інтелектуального аналізу даних носять в основному модельний характер, оскільки не враховують довільні початкові умови експлуатації енергогенеруючих блоків, вплив неконтрольованих збурюючих факторів, багатовимірність словника ознак і алфавіту класів розпізнавання. Для усунення цих недоліків доцільним є застосування ідей і методів інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології), яка ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності здатної навчатися системи підтримки прийняття рішень (СППР) [2]. В праці [3] розглядалася задача інформаційно-екстремального синтезу СППР для керування енергоблоком, але не була досягнута висока функціональна ефективність машинного навчання системи через те, що система контрольних допусків на ознаки розпізнавання не була оптимальною в інформаційному розумінні.

Розглянемо формалізовану постановку задачі інформаційного синтезу здатної навчатися СППР, яка є складовою автоматизованої системи керування енергоблоком ТЕЦ. Нехай задано алфавіт класів розпізнавання  $\{X_m^o \mid m = \overline{1, M}\}$ , які характеризують можливі функціональні стани керованого технологічного процесу. Для алфавіту  $\{X_m^o\}$  сформовано вхідну багатовимірну навчальну матрицю  $\|y_{m,i}^{(j)}\|$ , в якій рядок є реалізацією образу  $\{y_{m,i}^{(j)} \mid i = \overline{1, N}\}$ , де  $N$  – кількість структурованих ознак розпізнавання, а стовпчик матриці – випадкова навчальна вибірка  $\{y_{m,i}^{(j)} \mid j = \overline{1, n}\}$ , де  $n$  – обсяг вибірки. Крім того, відомий структурований вектор параметрів навчання системи розпізнавати реалізації деякого класу  $X_m^o$  із заданого алфавіту

$$g_m = \langle x_m, d_m, \delta_i \rangle, \quad (1)$$

де  $x_m$  – статистично усереднений двійковий вектор-реалізація (далі просто реалізація) класу  $X_m^o$ , який визначає геометричний центр контейнеру класу розпізнавання, що відновлюється в радіальному базисі простору ознак розпізнавання;  $d_m$  – радіус контейнера класу  $X_m^o$ , який відновлюється в процесі машинного навчання в бінарному просторі ознак;  $\delta_i$  – параметр поля контрольних допусків на  $i$ -ту ознаку розпізнавання, який дорівнює половині симетричного поля контрольних допусків і визначається відносно базового класу  $X_1^o$ , що характеризує найбільш бажаний функціональний стан технологічного процесу. При цьому задано такі обмеження:  $d_m \in [0; d(x_m \oplus x_c) - 1]$ , де  $d(x_m \oplus x_c)$  – кодова відстань від центра контейнера класу  $X_m^o$  до центра контейнера сусіднього класу  $X_c$ ;  $\delta_i \in [0; \delta_{H,i} / 2]$ , де  $\delta_{H,i}$  – нормоване поле допусків, що визначає область значень параметра  $\delta_i$ .

Необхідно в процесі навчання визначити оптимальні значення координат вектора параметрів (1), які забезпечують максимум усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного критерію оптимізації в робочій (допустимій) області визначення його функції:

$$\bar{E}^* = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \max_{G_E \cap \{k\}} E_m^{(k)}, \quad (2)$$

де  $E_m^{(k)}$  – інформаційний критерій оптимізації параметрів навчання СППР розпізнавати реалізації класу  $X_m^o$ , значення якого обчислено на  $k$ -му кроці навчання;  $G_E$  – робоча (допустима) область визначення функції інформаційного критерію;  $\{k\}$  – множина кроків навчання (відновлення

контейнерів класів розпізнавання).

На етапі екзамену, тобто безпосередньо в робочому режимі, необхідно прийняти рішення про належність реалізації, що характеризує поточний функціональний стан технологічного процесу, одному із класів заданого алфавіту і видати рекомендації оператору для прийняття керуючих рішень.

Таким чином, розв'язок задачі інформаційного синтезу здатної навчатися СППР в рамках ІЕІ-технології полягає в оптимізації параметрів навчання шляхом ітераційного пошуку глобального максимуму інформаційного критерію (2) в робочій (допустимій) області визначення його функції.

Для оцінки функціональної ефективності машинного навчання було використано модифіковану міру Кульбака, яка для двохальтернативних рішень з апіорно рівноймовірними гіпотезами має вигляд [2]

$$E_m^{(k)}(d) = [P_{t,m}^{(k)}(d) - P_{f,m}^{(k)}(d)] \log_2 \frac{P_{t,m}^{(k)}(d)}{P_{f,m}^{(k)}(d)} = [D_{1,m}^{(k)}(d) - \beta_m^{(k)}(d)] \times \\ \times \log_2 \left[ \frac{1 + [D_{1,m}^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)] + 10^{-r}}{1 - [D_{1,m}^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)] + 10^{-r}} \right],$$

де  $P_{t,m}^{(k)}(d)$ ,  $P_{f,m}^{(k)}(d)$  – повні ймовірності відповідно правильного і неправильного прийняття рішень, обчислені **Ошибка! Закладка не определена.** на  $k$ -му кроці оптимізації параметрів навчання СППР;  $D_{1,m}^{(k)}$  – перша достовірність, яка характеризує ймовірність правильної класифікації вектора-реалізації класу  $X_m^o$ ;  $\beta_m^{(k)}$  – помилка другого роду, яка характеризує помилкове віднесення до класу  $X_m^o$  вектора-реалізації іншого класу;  $d$  – дистанційна міра, яка визначає величину радіусу гіперсферичного контейнера класу розпізнавання  $X_m^o$ ;  $10^{-r}$  – достатньо мале число, яке вводиться для уникнення поділу на нуль (величина  $r$  на практиці вибирається в інтервалі  $1 < r \leq 3$ ).

Інформаційно-екстремальне машинного навчання СППР було реалізовано для оцінювання функціонального стану енергогенеруючого блоку ТЕЦ міста Шостки (Україна). Алфавіт складався із трьох класів, які характеризували функціональні стани технологічного процесу. При цьому клас  $X_1^o$  характеризував функціональний стан «Норма», при якому температура та тиск пару на вході системи турбіна-генератор відповідали технологічному режиму; клас  $X_2^o$  – функціональний стан «Менше норми» і клас  $X_3^o$  – функціональний стан «Більше норми». Вектор-реалізація кожного класу розпізнавання, який формувалася в процесі опитування датчиків інформації енергогенеруючого блоку, складався із 66 структурованих ознак. Кількість реалізацій, які утворювали навчальну матрицю для кожного класу розпізнавання дорівнювала  $n = 60$ .

У результаті було встановлено залежність функціональної ефективності машинного навчання СППР від контрольних допусків на ознаки розпізнавання і визначено оптимальні параметри вектора (1). Оскільки в процесі машинного навчання СППР не вдалося побудувати безпомилкові за навчальною матрицею вирішальні правила, то доцільно збільшити глибину навчання шляхом оптимізації інших параметрів, у тому числі і параметрів формування вхідного математичного опису системи керування.

#### Список літературних джерел

1. Горелік О. Х. Удосконалення систем автоматизованого управління енергоблоків атомних і теплових електростанцій для підвищення їх експлуатаційної надійності / О. Х. Горелік // Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук – Харків: ХП. – 2007. – 40 с.
2. Довбиш, А. С. Основи проектування інтелектуальних систем: навчальний посібник / А. С. Довбиш // Вид-во СумДУ. - 2009. – 171 с
3. Довбиш А. С. Оптимізація параметрів навчання системи керування енергоблоком теплоелектроцентралі / А. С. Довбиш, М. В. Бібик, А. С. Рудий // Компресорное и энергетическое машиностроение. – 2015. – №3(41). – С. 37-40.

В.Ю. Кучерук, д.т.н., проф.; О.М. Васілевський, д.т.н., проф.;  
П.І. Кулаков, д.т.н., проф.; І.А. Дудатьєв, к.т.н, ст. викл.

## ЗАСІБ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ У ДИМОВИХ ГАЗАХ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВІ ОПТИКО-АБСОРБЦІЙНОГО МЕТОДУ

**Ключові слова:** засіб контролю, сенсори, котельні установки.

**Основна частина.** Для визначення довжин налаштування фотоприймачів у засоби контролю концентрації двоокису вуглецю у димових газах котельних установок проведемо аналіз спектрів поглинання газів [1], що є продуктами згорання котельної установки.

Димові гази котельних установок, середньоочікувана концентрація яких вища за 0.1% об. та її основні коливально-обертальні характеристики представлено на рис. 1.

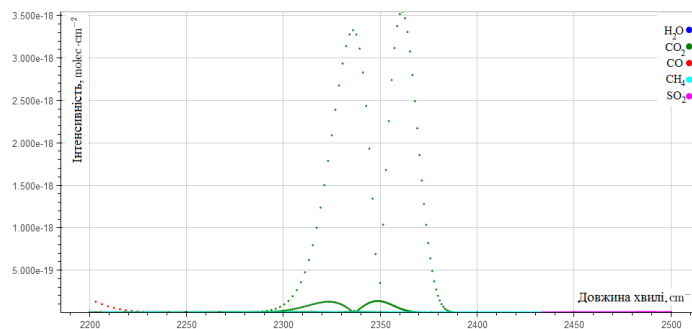


Рис. 1. Спектр поглинання компонентів димових газів котельних установок у діапазоні 4 – 4.5 мкм

З аналізу спектрів зроблено висновок, що найактивніша область знаходиться в межах 2200-2500  $\text{cm}^{-1}$ . На рис. 1. представлено поглинання основних компонентів димових газів котельних установок у діапазоні 4 – 4.5 мкм (2200 – 2500  $\text{cm}^{-1}$ ).

Як видно з аналізу спектрів поглинання основних димових газів котельних установок практично всі смуги поглинання знаходяться поруч одна до одної (в деяких випадках накладаються). До того ж, пари води які присутні у газах, займають широкий спектр довжин смуг поглинання. Тому необхідною умовою є не лише вибір довжин поглинання газів таким чином, щоб вони не накладались один на одного, а і використовувати високоточні джерела випромінювання і приймачі (ширина роботи спектру яких не дозволяє потрапляння “сусідніх” газів). Після аналізу довжин поглинання димових газів необхідно за вже відомими вхідними даними обрати інфрачервоні випромінювачі і приймачі.

Таким чином, можна визначити параметри фотодіодів та фотоприймачів, при цьому було враховано взаємоперетин ліній поглинання. Тобто контрольні точки для кожного газу виглядають таким чином, що поруч немає ліній поглинання інших газів, що могли б вплинути на результати вимірювань.

Графічне моделювання фрагменту бази даних HITRAN представлено на рис. 2.

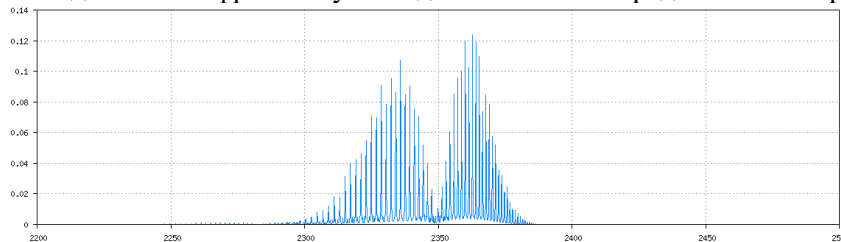


Рис.2. Фрагменту бази даних HITRAN

Як видно з рис. 2, спектр поглинання двоокису вуглецю в заданому діапазоні має складну структуру за рахунок накладання спектрів газів які входять до його складу, тому коефіцієнт поглинання  $k(\lambda)$  смуги виразимо сумою коефіцієнтів поглинання окремих ліній



$$k(\lambda) = \sum_i \frac{S(\lambda_i)}{\pi} \cdot \frac{\sigma}{\sigma^2 + \left(\frac{1}{\lambda_i} - \frac{1}{\lambda_0}\right)^2}, \quad (1)$$

де  $S$  – інтенсивність смуги поглинання;  $\lambda_i$  та  $\lambda_0$  – довжина та центр смуги поглинання;  $\sigma$  – ширина смуги поглинання.

Для розрахунку величини поглинання в інтервалі 4,1 – 4,3 мкм (2300-2400 см<sup>-1</sup>) використовувалась аналітична модель спектрального розподілу коефіцієнтів поглинання газу, розрахована на основі таблиць інтенсивності ліній  $S(\lambda_0)$  випромінювання газів в зазначеному спектральному діапазоні, що відповідає наступним наближенням:

1. Спектр коефіцієнта поглинання газу описується сумою розподілів Лоренца з різними  $\lambda_0$  і  $S(\lambda_0)$ , але однаковими значеннями  $\sigma_L$ .

2. Спектри коефіцієнтів поглинання всіх газів задаються в спектральній смузі 2300-2400 см<sup>-1</sup> (довжини хвиль випромінювання 4,1 – 4,3 мкм) з кроком 0,01 см<sup>-1</sup>. Виконання цієї умови необхідно для зручності аналізу сумішей газів і врахування впливу впливних газів.

3. У моделі враховуються тільки лінії, що мають інтенсивність  $S \geq 0,1$  [см·атм] при нормальних умовах вимірювання.

Модель ослаблення випромінювання в середовище димових газів котельних установок представлена на рис. 3.

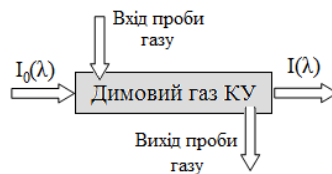


Рис. 3. Модель ослаблення випромінювання в середовище димових газів котельних установок

На основі закону Бугера-Ламберта-Бера отримано математичну модель, яка описує процес ослаблення випромінювання в оптичному вимірювальному перетворювачі та враховує основні фактори, які пов'язані з особливостями об'єкту контролю, що впливають на її коректність

$$I_l = I_0 \cdot e^{-\frac{\int_0^{\infty} k_s(\lambda) d\lambda}{\pi} \frac{\sigma}{\sigma^2 + \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_i}\right)^2} P_0 e^{\frac{-0,0083 \cdot T}{R \cdot T}} \frac{C \cdot l}{M} \cdot P_{розр.}}, \quad (2)$$

де  $I_l$  – інтенсивність випромінювання, яке пройшло через досліджуваний газ;  $I_0$  – початкова інтенсивність випромінювання;  $M_m$  – молярна маса сухого повітря (0,029  $\frac{кг}{моль}$ );  $g$  – прискорення

вільного падіння;  $h$  – висота, яка є сумою висоти димової труби та поверхні її основи над рівнем моря;  $C$  – концентрація газу (мг/м<sup>3</sup>);  $l$  – довжина шляху поглинання;  $\sigma$  – ширина смуги поглинання;  $M$  – молярна маса досліджуваного газу;  $T$  – температура димового газу;  $R$  – універсальна газова стала;  $P_0$  – тиск на рівні моря;  $P_{розр.}$  – тиск розрідження.

Результати моделювання рівняння (2) представлені на рис. 4.

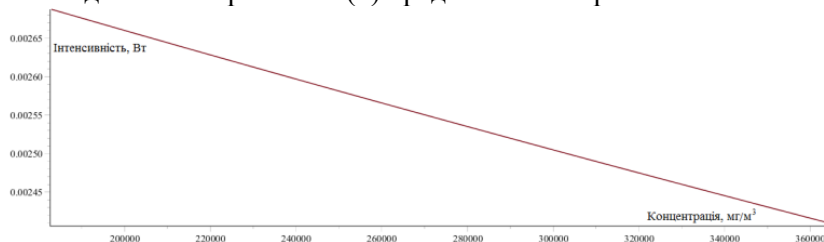


Рис. 4. Моделювання залежності концентрації димового газу від інтенсивності

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

- Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия: основы, техника, аналитическое применение / Смит А. — М.: Мир, 1982. — 328 с.

**Л.В.Кузьмич, к.т.н., доцент**

## **СУЧАСНИЙ СТАН ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ДЕФОРМАЦІЙ ТА МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

Ключові слова: технічна система, елемент, деформація, механічне напруження, метод, вимірювання, контроль

Сучасні складні технічні системи в результаті впливу різного роду факторів – природних та людських, сприймають значні статистичні та динамічні навантаження, що викликають перенапруження та деформації конструктивних елементів. Такі явища можуть призвести як до порушення цілісності технічної системи, тобто конструкції, так і до її руйнування. Подібні впливи також можуть супроводжуватися переміщенням конструкції або її елементів в просторі. При цьому просторові зміни положення елементів конструкції можуть носити як постійний (статистичний), так і змінний (динамічний) характер.

Умови експлуатації складних технічних систем залежать, в першу чергу, від їхнього технічного стану, рівень якого визначається класом капітальності, строком служби та умовами експлуатаційного функціонування. В свою чергу, експлуатаційні умови характеризуються наявністю різного роду навантажень, механічних напружень, викликаних експлуатаційними операціями, а також внаслідок погодно – кліматичних впливів. Постійне перевищення допустимих напружень може призвести до руйнування споруди [1]. Тому безперервний контроль механічних напружень в споруді є фактором попередження не лише економічних збитків, але і людських жертв.

Здійснення такого роду досліджень пов'язане з застосуванням різного роду апаратури та датчиків для реєстрації напруг та деформацій впродовж тривалого строку.

Вибір експериментальних методів і засобів визначення деформацій і напружень у зв'язку із завданнями розрахунку на міцність, залежить від особливостей поставленої задачі та її складності, умов вимірювання та необхідної точності [1, 2].

На сьогоднішній день відомі системи контролю загальної міцності складних технічних систем, що базуються на наступних методах неруйнівного контролю механічних напружень:

- Рентгенівські методи;
- Ультразвукові методи;
- Теплові методи;
- Використання магнітопружного ефекту для вимірювання механічних напружень;
- Коерцитиметричний метод вимірювання механічних напружень;
- Метод тензодобавок;
- Магнітопружна пам'ять магнетиків та її використання для вимірювання силового впливу.

В даний час розробляються і експлуатуються, головним чином, рентгенівський, акустичний і магнітні методи вимірювання деформацій та механічних напружень.

Пропонована робота орієнтована на пошук нових інформативних параметрів на основі дослідження закономірностей зміни магнітних властивостей, на розробку нових методів і засобів вимірювання, зокрема, із залученням кількох параметрів з тим, щоб підвищити точність і надійність вимірювання, істотно розширити їх можливості.

Список літературних джерел:

1. Л.В.Кузьмич, к.т.н., Цехмайстрок Ю.С. Сучасний стан вимірювання механічних деформацій складних технічних систем [електронний ресурс]/ Матеріали XIII міжнародної науково – технічної конференції «АВІА – 2017».- Режим доступу до сайту:<http://avia.nau.edu.ua/avia2017/>.
2. Квасніков В. П. Шляхи підвищення точності вимірювання деформації та механічних напружень / В. П. Квасніков, Т. І. Ганєва // Метрологія та прилади. – Київ, 2015. - № 6. – С. 15-18.

**В. С. Купко, к.т.н., Ю.М. Сковородкіна, інженер 1 кат.**

## **ПРОВЕДЕННЯ ПОРІВНЯЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ НА КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИНАХ РІЗНИХ ВИРОБНИКІВ**

*Ключові слова:* координатно-вимірювальна машина, невизначеність, вимірювання, калібрування, порівняння, простежуваність, контроль, методика калібрування.

Калібрування засобів вимірювальної техніки - сукупність операцій, які виконуються з метою визначення дійсних значень метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки.

Калібрування проводиться переважно метрологічними службами з використанням еталонів, які простежуються до державних еталонів одиниць величин.

Надійність правильно сконструйованої машини, функціонування її вузлів, а значить, і ресурс у визначальній мірі залежать від геометричної точності виготовлення деталей по поверхні, яка сполучається. Підвищення вимог до якості машин тягне за собою посилення допусків. Одночасно підвищується і частка трудомісткості операцій контролю в технологічному процесі виготовлення деталей і виробів, удосконалюються вимірювальні засоби.

У координатно-вимірювальних машинах (КВМ) використовується координатний метод вимірювання, що зводиться до послідовного знаходження координат ряду точок через виробу і подальшого розрахунку розмірів.

Розглянуто дві КВМ GLOBAL Performance виробництва фірми DEA, Італія та Axiom too CNC виробництва фірми ABERLINK, Велика Британія.

Обидві КВМ відносяться до машин портального типу та використовують метод механічного оцупування.

КВМ використовуються для контролю деталей із формоутворюючими поверхнями будь-якої складності. Завдяки їх застосуванню підвищується точність і достовірність результатів вимірювання. Використання принципів оперативного та діалогового програмного забезпечення дало можливість спростити застосування КВМ, як універсального засобу контролю в одиничному та малосерійному виробництві.

Калібрування КВМ проводилося у відповідності до МКУ 01-416:2016 Метрологія. Координатно-вимірювальні машини. Методика калібрування. Що базується на ДСТУ ISO 10360-2:2006. в процесі калібрування оцінювалися два параметри:

- повторюваність вимірювання точки;
- просторова точність методом оцупування

Використання КВМ значно спрощує метрологічну підготовку виробництва нового виробу, так як відпадає необхідність створення значної кількості засобів спеціальної вимірювальної оснастки. Протокол з результатами контролю, який видається КВМ, підвищує відповідальність виробника та є свідомством відповідності технологічного процесу вимогам виробництва.

### **Список літературних джерел**

1. ДСТУ ISO 10360-2:2006 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS) приймальні та контрольні випробування координатно-вимірювальних машин. Частина 2. Координатно-вимірювальні машини для вимірювання розмірів.
2. Керівництво з вираження невизначеності РМГ 43-2001.
3. МКУ 01-416:2016 Метрологія. Координатно-вимірювальні машини. Методика калібрування.
4. Guide to the Expression Uncertainty in Measurement. – Geneva: ISO, 1993. - 101 p.

**Б.Ч.Бердієв, методист, викладач вищої категорії; О.О.Попов, студент**

## **THE LABORATORY BENCH FOR DETERMINATION OF MAIN METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF PRIMARY MEASURING CONVERTERS**

Keywords: Primary measuring converter, error, source of the standard signal, microcontroller, analog-to-digital converter, computer, laboratory bench.

The primary measuring converter is a technical device with normalized metrological characteristics that serves to convert the measured value into another value or a measuring signal convenient for processing, storage, further transformations, indication and transmission, but not directly perceived by the operator. In practice, the value, in which the conversion of the measured value signal occurs, most often is an electrical signal. The most important characteristics of the primary converters are the nominal static characteristic of the conversion, the conversion coefficient, the sensitivity limit, the systematic component of the conversion error, the random component of the conversion error, the common error of the measuring converter and the dynamic characteristic. Over time, the common error can grow up, so it is necessary to determine periodically its value for the operating measuring converter.

The purpose of creating this laboratory bench is to automate the process of determining the metrological characteristics of the converter being researched, obtaining the necessary amount of measured information to determine errors, and storing this data into a computer for the following mathematical processing. It is necessary to make this process as cheapest, fastest and most effective, as possible. Also it is necessary to give an opportunity to use this bench for working with primary converters of different types, which convert information about different physical values. As a result such bench can be used to solve a really big number of measurement tasks.

In general situation, the laboratory bench consists of the following parts: the source of the standard signal, the primary converter which characteristics must be determined, the microcontroller device, and also the computer.

In the course of the experiment, the converter is examined at the necessary control points, on each of them a sufficiently large number of conversions can be done. The signal of the measured value of the standard source is converted into an electrical signal and transmitted to the input of the analog-to-digital converter of the microcontroller device.

Most of the working primary converters operate in the voltage range from zero to five volts, like a microcontroller. During the experiment, converter and microcontroller must obligatory have a common point with zero potential (ground). The microcontroller includes an analog-to-digital converter with a bit capacity of ten bits, and it is able to convert the input signal with the required accuracy.

The received data can be processed in the microcontroller itself. It is possible to make corrections or transform these data. The choice of the microcontroller is made also because this device allows to provide data transmission via one of the standard communication channels.

To transfer digitized data to a computer, a wired connection can be used via the USB bus if the distance between the computer and the laboratory bench is relatively small (not more than four meters). Otherwise, wireless data delivery via the radio channel can be organized. With any method of exchanging, data delivery is guaranteed, which cuts off the possibility of losing the measurement information due to external interference.

Another advantage of the microcontroller is its ability of in-circuit programming. If it is needed to change the software-introduced correction or work algorithm, it is possible to overwrite the program via a standard connector. In this case, the chip is not removed from the ready board. And it is possible to rewrite the program into microcontroller a big number of times, ten thousand at maximum.

Thus, the microcontroller device fulfills a large number of important operations. At the same time, it is basically inexpensive, compact, reliable, and also very economical in electricity consumption. In case of breaking of microcontroller, only one main microchip can be replaced, while the main board remains untouched.

As a computer, any personal computer that is available can be used. Also a single-board low-power and relatively cheap Raspberry Pi computer can be used.

The measurement information from the microcontroller is transmitted to the virtual COM port of computer. In the case of wired data delivery, the main microcontroller is connected to the computer. In the case of wireless delivery, an additional microcontroller that controls the operation of the radio receiver is

connected there. The data received on the virtual COM port can be written output to the console, displayed in an application with a graphical user interface, stored in a file system, in a local database, or sent to a centralized repository. A graph of the obtained values in real time can also be drawn.

The received data can be processed by a standard application. Also a unique application specifically for the solution of a specific task, can be developed. It makes possible to perform the required set of actions in a more user-friendly manner. If there are no conditions established by the operator, all calculations can be performed in full-automatic mode, which really speeds up the work and excludes the possibility of subjective error.

In the course of the operation, the operator performs the following actions: connecting all the components involved in the experiment; periodic change the value of the value of the standard input signal (if automatic change is not provided); if necessary, storing into the system the conditions for calculating the final results; if necessary, overwrites the necessary program into the microcontroller, using the special standard programmer.

In this laboratory bench, all the processes associated with receiving, converting, processing and storing information about the measured value are maximally automated. It is possible to change easily the algorithm of the bench, to process and display the received information in the most comfortable way for the user. At the same time, the part of the laboratory bench, which does not include the source of the standard input signal and the primary converter, is the cheapest and can be formed from the already available equipment. If necessary, the software for data processing can be easily expand and take on the solution of new additional tasks.

This laboratory bench can be used in metrological laboratories, repair shops and for the completing of laboratory works during the educational process.

#### Список літературних джерел:

Левшина Е. С, Новицкий П. В. Электрические измерения физических величин (Измерительные преобразователи). — Л.: Энергоатомиздат, 1983.

Бриндли К. Измерительные преобразователи. Справочное пособие. Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1991.

Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. Руководство пользователя. — М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. — 592 с: ил. (Серия «Программируемые системы»).

Блум Джереми Б71 Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства: Пер. с англ. — СПб.: БХВ, 2015. — 336 с: ил.

**Р. В. Кокошко, аспірант; Б. А. Кріль, к.т.н., с.н.с., доц.; О. В. Кріль, старший викладач**

## **РОЗРОБКА ВИТРАТОМІРІВ ТА ДОПОМІЖНИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛІКУ ПОВІТРЯ ТА ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ**

Ключові слова: вимірювання витрати пульсуючих потоків, витратомір, метод змінного перепаду тиску, стиснене повітря, вуглекислий газ.

Неперервний моніторинг матеріальних та енергетичних потоків у виробництвах є передумовою їхнього економного використання. Звичним є неперервний запис трендів споживання виробничими підрозділами електроенергії, води, тепло- або холодоносія та їхній аналіз з метою віднесення затрат згаданих ресурсів на одиницю продукції.

Для ряду харчових технологій важливим і економічно ефективним є облік витрати стисненого повітря та вуглекислого газу. Облік витрати стисненого повітря важливий в кондитерських виробництвах, в яких є багато пневмоприводів в складі технологічних ліній і для стискування повітря застосовуються каскадовані компресорні установки великої потужності. В пивоварному виробництві теж застосовується багато пневмоприводів, для відносно невеликого виробництва (ПАТ “Карлсберг Україна”, м. Львів) споживана електрична потужність каскаду з трьох компресорів сягає 250 кВт. Крім того, в пивоварному виробництві виділяється і споживається вуглекислий газ, який є цінною сировиною і його надлишок реалізується для інших виробництв, наприклад, для газування безалкогольних напоїв. Для перерахованих технологій потрібні швидкодіючі витратоміри пульсуючих потоків стиснутих середовищ, які можуть вимірювати швидкі зміни витрати в межах 0,2-1 від діапазону вимірювання за час 1-5 с.

Вимірюванням витрати стисненого повітря вирішують дві задачі: перша - це облік; друга – це задіяння сигналу по витраті при автоматизації роботи каскаду компресорів. На відміну від каскаду насосів для підкачування води, нестиснутого середовища з високою швидкістю зміни тиску в ньому, для автоматизації роботи каскаду компресорів стисненого повітря можна запропонувати нові алгоритми керування ними, які дозволять суттєво економити електроенергію. Для реалізації такої системи керування потрібен витратомір з високою швидкодією і малими втратами тиску на ньому.

При вимірюванні витрати вуглекислого газу, який витрачається для підтисування технологічних апаратів (буферних ємностей) та насичення пива, втрати тиску на витратомірі не є критичними, але є важливою швидкодією та обмеження витрати в лінії подачі до значення, яке не перевищує максимального значення діапазону вимірювання приладу. Важливо вибрати верхню межу вимірювання витратоміра на рівні 2-2,5 значень від розрахункового середнього споживання і не допустити перевищення значення витрати на технологічну лінію розливу понад цю величину, бо при інтегруванні витрати для розрахунку кількості вуглекислого газу похибка буде значною. Обмеження значення витрати досягались двома шляхами: 1) встановленням додаткової діафрагми в фланці витратоміра після контрольної ділянки; 2) встановленням після витратоміра спеціально розробленого обмежувача витрати прямої дії.

Для побудови витратомірів пульсуючих потоків стиснутих середовищ було вибрано метод змінного перепаду тиску на базі нестандартних звужуючих пристроїв. Перепад тиску на звужуючому пристрої вимірювався серійним дифманометром, два інші вимірювання – абсолютного тиску газу і температури потрібні для розрахунку густини газу в робочих умовах. Швидка обробка інформації реалізована на окремому контролері типу S7-1200, який легко інтегрується в промислову інформаційну мережу. Все застосоване обладнання виробництва концерну Siemens, представництво якого в Україні максимально сприяло реалізації цієї розробки.

Особливістю конструктивної реалізації витратомірів є те, що вони виготовлені як суцільнозварна конструкція з контрольними ділянками і мінімальною кількістю ущільнень. Для трубопроводів з діаметром до 50 мм стають критичними розміри складових звужуючого пристрою, їх важко виготовити з допуском меншим за 10 мкм. Тому розрахункова статична характеристика витратоміра перераховувалась за реальними розмірами готових деталей.

На рис. 1 зображений вигляд партії витратомірів вуглекислого газу, які були виготовлені для ПАТ “Карлсберг Україна”, м. Київ.

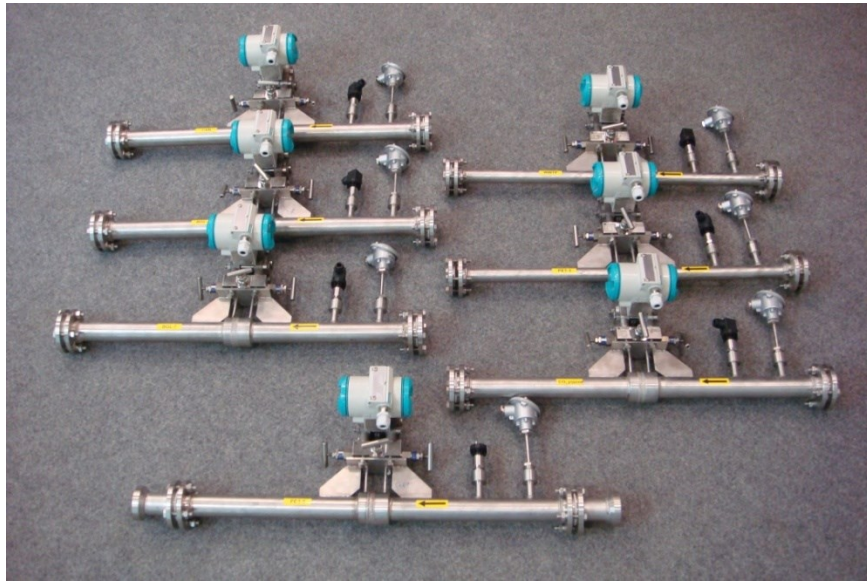


Рис 1. Загальний вигляд вимірювальних вузлів витратомірів пульсуючих потоків, виконаних як суцільнозварна конструкція.

На рис. 2 зображений витратомірний вузол для вимірювання пульсуючих потоків стисненого повітря, виготовлений як суцільнозварна конструкція без контрольних ділянок трубопроводу, який задіяний в системі автоматизації роботи каскаду з трьох компресорів на ПАТ “Карлсберг Україна”, м. Львів, один з яких керується частотним приводом.

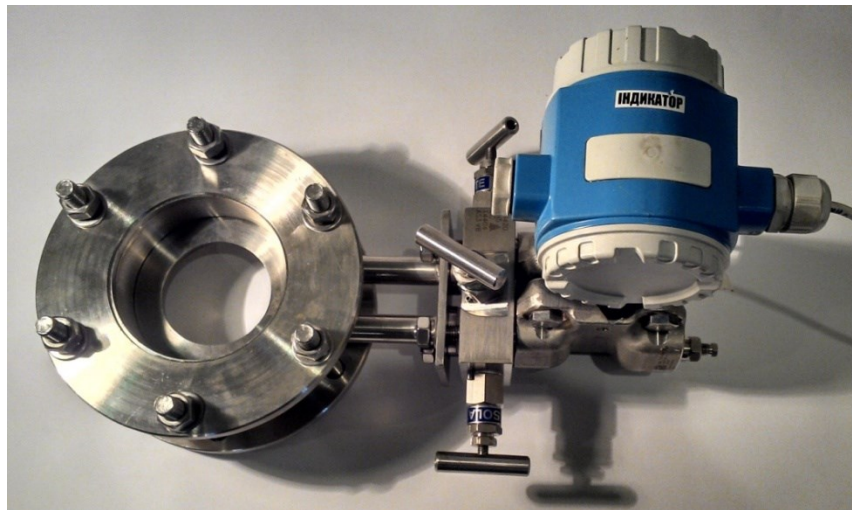


Рис 2. Загальний вигляд вимірювального вузла витратоміра пульсуючих потоків стисненого повітря, який виконаний як суцільнозварна конструкція.

Результати розробки витратомірів пульсуючих потоків вуглекислого газу, рідкого вуглекислого газу, стисненого повітря впроваджені на підприємствах ПАТ “Карлсберг Україна”, м. Львів, м. Київ, АТ “Пиво-безалкогольний комбінат ”Радомишль””, м. Радомишль, Житомирська обл.

Ю. В. Шабатура д.т.н., проф.; К. І. Снітков

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ІНДУКЦІЙНОГО ТА МАГНІТНОГО ДАВАЧА КУТА В СИСТЕМІ ВЕРТИКАЛЬНОГО НАВЕДЕННЯ ГАРМАТИ

Ключові слова: індукційний давач, озброєння та військова техніка, система керування.

Автоматизовані куто-вимірювальні системи вертикального наведення, що застосовуються в озброєнні та військовій техніці підрозділів родів військ Збройних Силах України відіграють важливу роль при виконанні бойового завдання. Однак наявні системи є фізично та морально застарілі та не дозволяють повною мірою ефективно виконати завдання. Ефективність виконання такого роду завдань прямим чином залежить від точності кутових вимірювань. Тому актуальною задачею є модернізації модуля, що відповідає за визначення кута повороту виконавчої системи. Для визначення кута повороту існує безліч видів давачів, найчастіше можна використати оптичний енкодер, магнітний енкодер або індукційний перетворювач. Оптичний енкодер перетворює рух в цифрові значення. Кожне кутове положення перетворюється на виході як цифрове значення. Завдяки цим значенням можна визначити кутові переміщення і визначити положення. Але попри всі переваги, енкодер має ряд недоліків, які ускладнюють його використання в системах озброєння та військовій техніці а саме: робота при занадто важких зусиллях які впливають на вал, не допускається наявність вологості при експлуатації, малий діапазон робочих температур, чутливість до вібрації, ударів або інших фізичних впливів, висока вартість давача.

Магнітний енкодер виконаний на основі давача Холла. В основі його будови лежить використання обертового немагнітного валу, який жорстко зв'язаний з діаметрально намагніченим постійним магнітом, від якого на деякій відстані знаходиться магніточутливий сенсор елемента Холла, що інтегрований разом з електронними схемами в одну інтегральну схему. Широке застосування набули магнітні енкодери з чотирма давачами Холла, які розташовані по колу діаметром 2-3 мм. (Рис. 1.a). Діаметрально розміщені давачі генерують сигнал протилежної полярності, пропорційно вертикальній складовій напруженості магнітного поля (Рис. 1.b). Різниця сигналів давачів збільшує корисну складову сигналу і дозволяє знизити вплив не співвісності магніту та сенсорного блоку з отриманням на виході двох диференціальних аналогових сигнали, що залежні від кута, які зображені на (Рис. 1.c) з вказанням двох характерних положень постійного магніту з позиційною міткою ( $\alpha = 0$  і  $\alpha = 45$  град.).

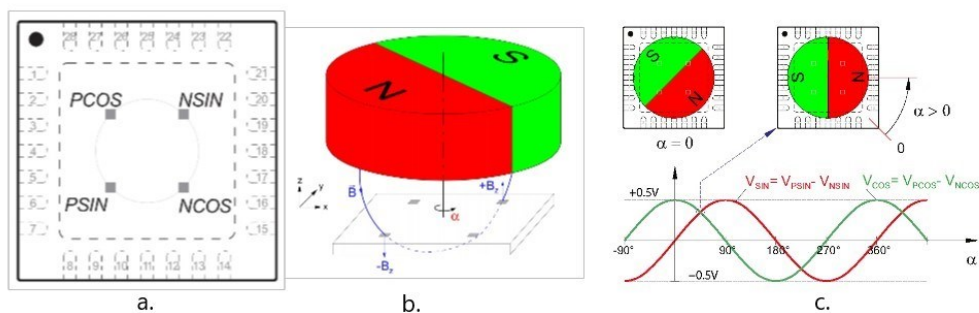


Рис 1.

(a – розташування сенсорів Холла на інтегральній схемі ; b – магнітний потік, який генерує сигнал одного з каналів давача ; c – залежність вихідного сигналу сенсорів Холла від кута положення постійного магніту;)

Разом з тим магнітні енкодери не позбавлені й недоліків. За точністю (кутова похибка) і роздільної здатності вони поступаються індукційним та фотоелектричним давачам. Крім інтегральної нелінійності (граничне відхилення між фактичним кутом і показаннями енкодера), що становить  $\pm (0,8 \dots 2,4)$  град., також в давачах цього типу існує диференціальна нелінійність.

Індукційні електромеханічні перетворювачі до цього часу є одними з найбільш популярних елементів позиційних систем керування. Це пояснюється перевагами над застосуванням оптичних та магнітних енкодерів у зв'язку з доволі простою конструкцією, яка може бути суміщена з основною виконавчою електричною машиною, невибагливістю до зовнішніх умов, що дає змогу їх використовувати у важких умовах експлуатації та невисокою вартістю порівняно з оптичними давачами. Але незважаючи на ряд переваг, індукційний електромагнітний перетворювач



характеризуються недостатньою точністю. Подальше підвищення точності індукційних давачів можливе за допомогою застосування математичних методів обробки їх сигналів.

Згідно тактико-технічних характеристик автоматизованих кутівимірювальних систем вертикального наведення гармати максимальний кут становить  $\sim 60^\circ$ , в зв'язку з цим як дослідний взірець використано індукційний давач кута ДУ з обмеженим кутом повороту  $\pm 120^\circ$ . У результаті математичної обробки вихідних характеристик індукційного давача кута з визначенням його нелінійності точність склала  $\pm 2\%$  у робочому діапазоні кутів поворотів. На рисунку (Рис. 2 а,б) показані типові результати визначення нелінійності вихідних характеристик індукційного давача кута.

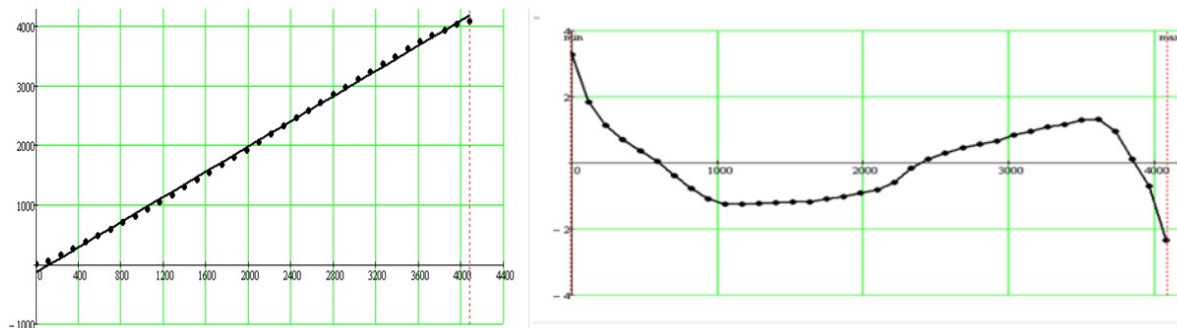


Рис 2.

(а – порівняння коду кута з регресивною прямою першого порядку; б – залежність нелінійності коду кута (у %) від кута повороту);

У таблиці 1 наведено порівняльні характеристики індукційних датчиків кута і магнітних енкодерів на сенсорах Холла:

Таблиця 1

	Найменування параметрів та характеристик	Індукційний давач кута	Магнітний енкодер
1	Діапазон робочих кутів, град.	$\pm 120$	360
2	Наявність інтегрованої обробки сигналів	–	+
3	Роздільна здатність, bit	12...14 (на обмеженому куті)	12...14 (на оберті)
4	Нелінійність вихідної характеристики (інтегральна)	2% ( $\sim 1.2$ град)	1...1,9 град
5	Гістерезис	–	(0,17...0,25) град
6	Абсолютна точність (кутова похибка)	Не гірше 2-х молодших розрядів АЦП	$\pm 0,35$ град
7	відносна кутова похибка	–	$\pm 0,15$ дискрет
8	Частота оновлення інформації	Більше 100 кГц (визначається робочою частотою АЦП)	невказано
9	Абсолютне визначення кута	+ *	+
10	Наявність регулювання нульового положення	+ *	+
11	Можливість розміщення рухомої частини ДУ за межами осі обертання	+	–

\* - Забезпечується математичною обробкою сигналів кутівимірювальні системи

Таким чином застосування математичних методів обробки вихідного сигналу дає змогу відчутно підняти точність давача без втрати його експлуатаційних можливостей.

Список літературних джерел:

Завгородній В. Квантово-механічна модель давачів кута індукційного типу (Частина 5. Аналіз алгоритмів обробки вихідних сигналів) / В. Завгородній, В. Мороз, А. Бойко // Електротехніка і електромеханіка. – 2004. – №4. – С. 27–33.

Мороз В. Аналіз реалізацій визначення кута при обробці сигналів з індукційних давачів кута / В. Мороз, І. Снітков, Д. Довгань, П. Болкот // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки: зб. наук. пр. — Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільськ. нац. ун-т, 2014. — Вип. 10. — С. 112-118. — Бібліогр.: 3 назв. — укр.

[http://www.ichaus.de/upload/pdf/MHM\\_datasheet\\_D1en.pdf](http://www.ichaus.de/upload/pdf/MHM_datasheet_D1en.pdf)

<http://www.micropribor.com.ua/upload/article/pdf/52007.pdf>

**О.М. Романюк, аспірант; Б.А. Кріль, к.т.н., с.н.с., доц.; О.В. Кріль, старший викладач**  
**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЧНИХ КОНЦЕНТРАТОМІРІВ**  
**ПАПЕРОВОЇ ПУЛЬПИ**

Ключові слова: вимірювання концентрації паперової пульпи, ротаційний концентратомір, лопатковий концентратомір, неньютонівські рідини.

Паперопереробна галузь промисловості в Україні починає відроджуватись і нарощувати об'єми виробництва. Передумовою є доступність сировини - макулатурної маси, яка може рециклічно перероблятися до шести разів, та висока ліквідність продукції – санітарно-гігієнічних виробів, картонних виробів, пакувальних матеріалів.

Підтримання заданої концентрації паперової пульпи на різних стадіях її підготовки при виробництві санітарно-гігієнічного паперу чи картону істотно впливає на якість та собівартість продукції. Неперервний контроль концентрації такого виду паперової пульпи найдоцільніше здійснювати з допомогою механічних концентратомірів, яких є два різновиди – ротаційного або міксерного типу та лопаткові[1,2]. Обидва різновиди реалізують непряме вимірювання концентрації за в'язкістю паперової пульпи. Авторами виконувались науково-пошукові роботи по вдосконаленню обох згаданих різновидів механічних концентратомірів паперової пульпи з метою розробки та дрібносерійного виробництва.

Основними відмінностями ротаційного концентратоміра паперової пульпи[3,4], конструкція механічної частини якого схематично відображена на рис. 1, є те, що в ньому застосовується чутливий елемент дископодібної форми з радіальними хвилеподібними ребрами, який може обертатися в обидва напрямки. Обертанням чутливого елемента в два напрямки з подальшою алгоритмічною обробкою можна зменшити вплив моменту, зумовленого ущільненням осі, та швидкісного напору потоку на результат вимірювання в'язкості паперової пульпи і пов'язаної з нею концентрації паперової маси. Зміну напрямку обертання чутливого елемента та точне підтримання кутової швидкості чутливого елемента і пов'язаної з нею швидкості зсуву, при якій проводиться вимірювання в'язкості, забезпечується з допомогою частотного перетворювача.

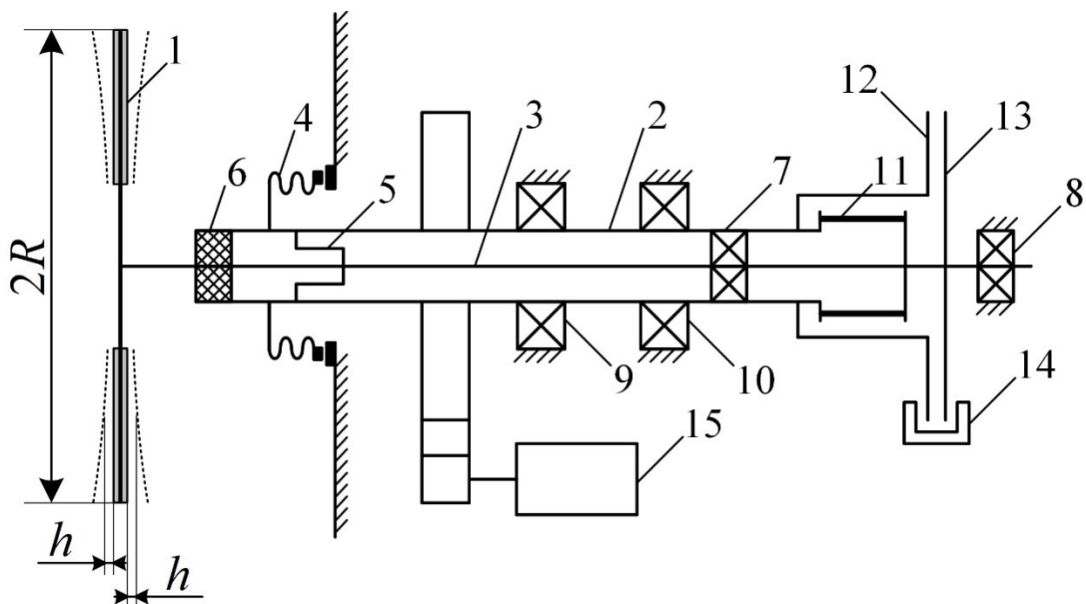


Рис.1. Конструкція механічної частини ротаційного вимірювача концентрації паперової пульпи. 1 - чутливий елемент дископодібної форми; 2 – основна порожниста вісь приладу; 3 – вісь чутливого елемента; 4 – ущільнення основної порожнистої осі з сальника і кільцевих вставок зі сплаву карбід вольфрам-кобальт; 5 – гнучке ущільнення осі з гофрованою тонкостінною трубкою; 6 – еластичне ущільнення для захисту від забивання ущільнення 5; 7, 8 – підшипники осі чутливого елемента; 9, 10 – підшипники основної порожнистої осі; 11 – торсійна пружина з циліндричних стержнів по колу; 12 – диск з прорізами на основній порожнистій осі; 13 – диск з прорізами на осі чутливого елемента; 14 – оптичний датчик кута зміщення дисків 12 і 13; 15 – двигун з живленням від частотного перетворювача.

Особливістю лопаткового концентратоміра паперової пульпи, який схематично зображений на рис. 2, є те, що лопатка 2 закріплена на осі 4 і коливається в потоці відносно середнього положення. Траєкторія руху лопатки задається від генератора імпульсів трикутної форми 7 і підтримується слідкуючою системою, виконавчим механізмом якої є магнітоелектричний перетворювач 5. В положеннях лопатки, близьких до середнього, струм через навитку магнітоелектричного перетворювача буде пропорційним до в'язкості і, відповідно, до концентрації паперової пульпи. Вибрана траєкторія руху лопатки на осі поперек потоку також дозволяє врахувати алгоритмічним методом вплив швидкості потоку.

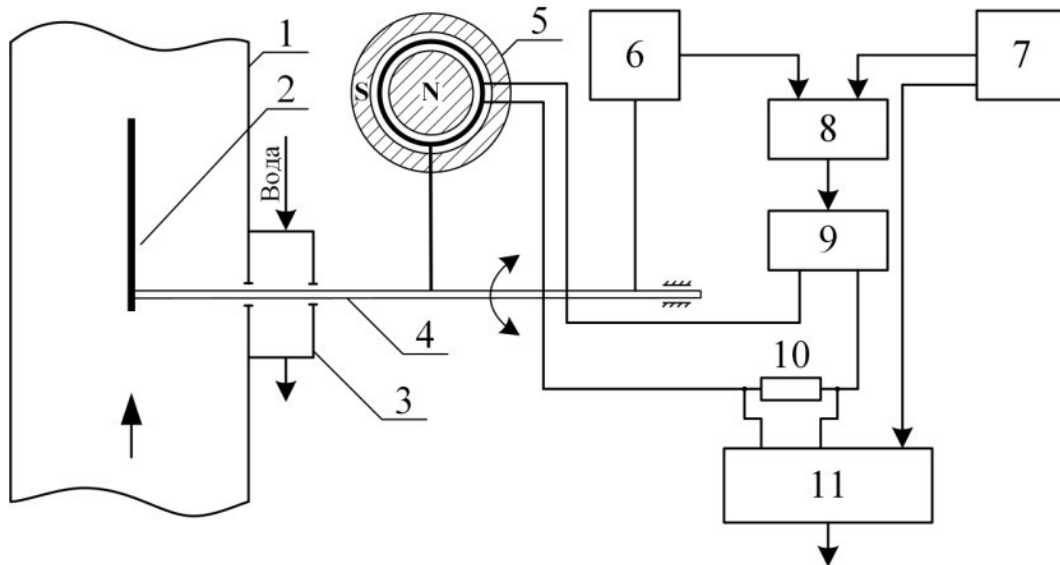


Рис. 2. Принципова схема лопаткового концентратоміра паперової пульпи з компенсацією впливу швидкості потоку. 1 – трубопровід, в якому протікає паперова пульпа; 2 – рухома лопатка концентратоміра; 3 – “мокре” ущільнення осі; 4 – вісь, з одного боку на якій закріплена лопатка, а з другого - на важелі навитка магнітоелектричного перетворювача; 5 – магнітна система магнітоелектричного перетворювача; 6 – приймальний перетворювач обертання осі; 7 – генератор імпульсів трикутної форми; 8 – диференційний підсилювач; 9 – підсилювач потужності; 10 - опір для вимірювання сили струму через навитку магнітоелектричного перетворювача; 11 – мікроконтролерна система для обробки інформації і зв’язку з системою відображення та керування технологічним процесом.

В розроблених конструкціях ротаційного та лопаткового концентратомірів паперової пульпи спільним є те, що в них можна встановити однакові швидкості зсуву, при яких проводиться вимірювання в'язкості неньютонівської рідини, якою є паперова пульпа. В результаті градувальні залежності від концентрації та характеру волокон стають максимально наближеними, а також можна використати однакову залежність для температурної компенсації. Разом з згаданими вище компенсаціями впливу швидкості потоку та моментів, зумовлених ущільненнями, це дозволяє підвищити точність вимірювання концентрації паперової маси.

Список літературних джерел:

- 1.Steffe, J.F. (1996) RheologicalMethods in Food Process Engineering. 2nd Edition.Freeman Press, East Lansing, MI, USA 418p.
- 2.Michael H. Waller (1993) A tutorial on the measurement of paper stock consistency. ISA Transactions 32, 277-282
- 3.Blanco A., Negro C., Fuente E., Tijero J. (2007) Rotor Selection for a Searle-Type Device to Study the Rheology of Paper Pulp Suspensions,” Chemical Engineering and Processing, 46(1), pp. 37-44.
- 4.Anderson N., Kullander J., Lundberg P., Adrian P. (2012) Phase Controller for a Dual Motor Torque Detecting Device. US Patent No.: US 8171776 B2

О. В. Бойко, к.т.н., доц.; Р. Л. Голяка, д.т.н., проф.;  
З. Ю. Готра, д.т.н., проф.; О. П. Чабан, к.т.н.

### ФУНКЦІОНАЛЬНО-ІНТЕГРОВАНІ СЕНСОРИ ТЕПЛОВИХ ВЕЛИЧИН

Ключові слова: сенсори теплових величин, калориметричні методи дослідження, функціональне інтегрування.

Дана робота присвячена подальшому розвитку сенсорів теплових величин на основі калориметричних методів дослідження. Інформативною величиною таких сенсорів є кількість тепла, яка поглинається чи виділяється в процесі фазового переходу досліджуваної речовини. Цей фазовий перехід забезпечується відповідним контрольованим нагрівом чи охолодженням вимірювальних перетворювачів [1]. Розвиток калориметричних сенсорів відбувається в напрямках підвищення чутливості та селективності, мініатюризації, розширення функціональності тощо. Розвиваються методи та засоби мікрокалориметрії та нанокалориметрії [2]. Значний прогрес досягнутий в реалізації калориметричних перетворювачів на базі інтегральної електроніки [3, 4] та мікроелектронних сигнальних перетворювачів [5].

В даній роботі формулюється концепція побудови функціонально інтегрованих сенсорів теплових величин на основі калориметричних методів дослідження, новизною яких є використання компонентів твердотільної мікроелектроніки та багатофункціональних сигнальних перетворювачів. Під функціональним інтегруванням розуміється можливість використання однієї і тієї ж мікроелектронної структури для:

- керованого нагріву досліджуваного зразку чи середовища у відповідності до заданого алгоритму модуляції теплового потоку;
- вимірювання температури досліджуваного зразка чи різниці температур між досліджуваним та опорним (Reference) зразками;
- вимірювання зміни оптичних, магнітних, механічних чи імпедансних характеристик досліджуваного зразка в процесі модуляції його температури;

В узагальненому вигляді вимірювальний перетворювач сенсорів теплових величин з функціональним in-situ інтегруванням (рис. 1, а) реалізується чотирма взаємопов'язаними процесами:

- активації теплових процесів, тобто керованого нагріву –  $A_Q$  (Actuation of Q);
- вимірювання температури  $M_T$  (Measurement of Temperature);
- активації фізичного впливу на об'єкт дослідження, зокрема, формування світлового випромінювання, магнітного поля чи механічного напруження  $A_P$  (Actuation of Physics influence – light radiation, magnetic field, mechanical stress);
- вимірювання результату дії фізичного впливу на об'єкт дослідження  $M_P$  (Measurement of Physics influence).

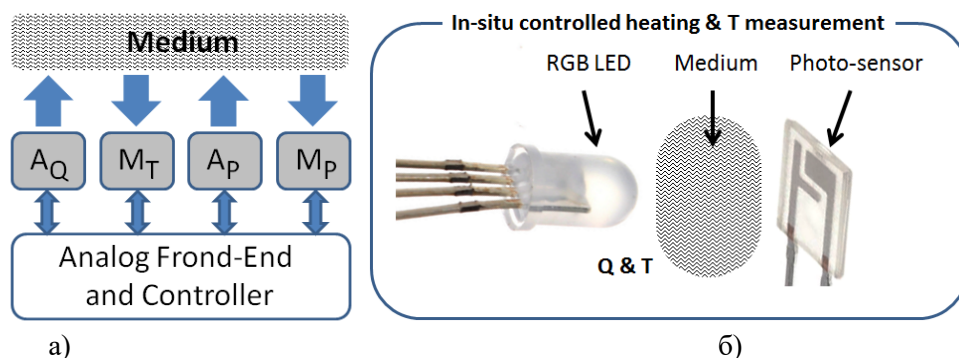


Рис. 1. Узагальнене представлення функціонально інтегрованого вимірювального перетворювача сенсорів теплових величин (а) та приклад його реалізації на оптичній (б)

Термін «in-situ» використано за аналогією до вимірювання параметрів безпосередньо в об'єкті дослідження, зокрема, живому організмі, чи калібрування сенсора температури без його виймання з об'єкту вимірювання. Під терміном «in-situ» розуміється здатність вимірювального перетворювача формувати кероване нагрівання  $A_Q$  та вимірювання температури  $M_T$  без

використання традиційних нагрівників сенсорів температури. Таке кероване тепловиділення та вимірювання температури реалізується використанням лише тих компонентів, що формують вищезгадані процеси: формування  $A_p$  та вимірювання параметрів  $M_p$  фізичного впливу.

Керування процесами з функціональним *in-situ* інтегруванням здійснюється сигнальним перетворювачем, який типово містить аналоговий фронт-енд (Analog Front-End) та контролер (Controller). Цей сигнальний перетворювач є невід'ємним компонентом вимірювального перетворювача, адже алгоритм керування процесом вимірювання є набагато складнішим, ніж це має місце в традиційних монофункціональних сенсорах. В даному контексті під складністю розуміють, власне, не інтегрування різних сенсорів в єдиний модуль, а реалізацію нових функцій вимірювального перетворення на основі традиційних актюаторів та сенсорів світлового випромінювання, магнітного поля, механічного напруження тощо.

Задача розроблення вимірювальних перетворювачів сенсорів теплових величин з функціональним *in-situ* інтегруванням особливо актуальна в органічній електроніці, на технологіях якої в даний час реалізуються органічні світловипромінювальні OLED (Organic Light Emitted Diode) структури з унікальними спектральними характеристиками, органічні фотосенсори, органічні транзистори тощо. Органічна електроніка, з одного боку, доволі просто дозволяє реалізувати інтегровані структури «OLED – транзистор – фотоприймач», а з іншого боку, її подальший розвиток ставить задачі створення нових інструментальних засобів параметричної характеристики матеріалів. Новизна цих засобів полягає в необхідності проводити параметричну характеристику органічних матеріалів – дослідження їх випромінювальних чи фоточутливих властивостей, зокрема, температурного та часового дрейфу – як це вже було сформульовано, з вбудованою *in-situ* функціональністю. Іншими словами, характеристика досліджуваного органічного матеріалу та структур на його основі повинна проводитись засобами, які є інтегрованими в досліджуваний матеріал чи технологічний процес його виготовлення.

Очевидною перевагою сенсорів теплових величин з функціональним *in-situ* інтегруванням є мініатюрність та здатність проводити параметричний аналіз гранично малих об'ємів досліджуваних речовин з їх розміщенням безпосередньо на напівпровідникових структурах, зокрема, p-n переходах оптопар чи сенсорів магнітного поля. Розмір таких структур може бути як завгодно малим від декількох мікрметрів (в фоточутливих 2D матрицях) і до декількох міліметрів (в типових фотодіодах та світлодіодах великої потужності, холлівських сенсорах магнітного поля, магніотранзисторах тощо).

В роботі розглядаються характерні приклади функціонально інтегрованих сенсорів теплових величин та їх режими роботи. Так, на рис. 1, б наведено спрощене представлення функціонально інтегрованого вимірювального перетворювача на оптопарі, де: RGB LED - триколірний RGB (Red-Green-Blue) світлодіод LED (Light Emitted Diode), Medium – об'єкт дослідження, Photo-sensor – фотосенсор, зокрема, фоторезистор, фотодіод чи фототранзистор. Новизною запропонованого рішення в даному прикладі є забезпечення алгоритму керування такими компонентами оптопари, в результаті реалізації якого формуються всі вищезгадані процеси – активація та вимірювання параметрів, як світлового потоку, так і теплових (In-situ controlled heating & Temperature measurement – Q & T) процесів. Контрольований нагрів та вимірювання температури може здійснюватися, як одним з компонентів оптопари, так і обома її компонентами світловипромінюючими чи фоточутливими.

#### Список літературних джерел

1. Brown M.E. Introduction to Thermal Analysis. Techniques and Applications. 2nd ed. Kluwer. - 2001. - 310 p.
2. Kunal Lulla. Highly sensitive nanocalorimeter. The laureates of nanoART 2013. Fondation Nanosciences. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.fondation-nanosciences.fr/RTRA/en/659/2013-nanoart-laureates.html>.
3. A.W. van Herwaarden. Overview of calorimeter chips for various applications. Thermochemica acta. – N. 432. – 2005. PP. 192 – 201.
4. Мікроелектронні сигнальні перетворювачі теплових сенсорів потоку: монографія / З.Ю.Готра, С.В.Павлов, Р.Л.Голяка та ін. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 240 с.
5. Energy-efficient signal converters of thermocouple temperature sensors / Holyaka R., Kostiv N. Advanced Numerical Modeling. IPhDW – 2011. ISBN 978-83-61956-02-0. Zielona Gora. Poland. PP. 141-142.

О.М. Васілевський, д.т.н., проф.; Н.І. Сторожук

## СПОСІБ КАЛІБРУВАННЯ ТА ЛІНЕАРИЗАЦІЯ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРА

Ключові слова: калібрування, лінеаризація, витратомір, термоанемометр з постійною температурою.

На сьогоднішній день при вимірюванні витрат широко використовуються інноваційна сенсорна технологія з використанням теплових сенсорів, наприклад, таких як AGFS5, що засновані на визначенні варіації коефіцієнта тепловіддачі, який залежить від швидкості потоку [1].

Швидкість потоку змінює втрати теплової енергії нагрівачем: в міру проходження середовища через сенсор, тепло передається від сенсора до середовища. Коли збільшується витрата, то кількість тепла, що передається зменшується, що означає збільшення швидкості потоку. Цей ефект призводить до зміни коефіцієнта теплопередачі. Використовуючи відповідні регулятори, можна досягти постійної різниці температур між нагрівачем та сенсором температури. Такий принцип вимірювання різниці температур позначають через постійну температурного анемометра (Constant Temperature Anemometer - CTA).

В результаті відповідних перетворень і спрощення, рівняння перетворення витратоміра можна описати виразом:

$$U = U_0 \cdot \sqrt{1 + k \cdot \vec{v}^n}, \quad (1)$$

$$\vec{v} = \frac{[(U - U_0) \cdot (U + U_0)]^{\frac{1}{n}}}{\left(k^{\frac{1}{n}}\right) \cdot U_0^{\frac{2}{n}}}, \quad (2)$$

де  $U$  - вихідний сигнал, значення якого залежить від витрат;  $k$  – константа, залежна від рідини;  $U_0$  - вільна конвекція зміщення;  $v$  - швидкість рідини.

$U_0$  – значення різниці з постійною температурою ( $t$ , °C) між нагрівачем і рідиною без будь-якої швидкості потоку, що відбувається в результаті природної конвекції.

Для лінеаризації пропонується використати зворотну функцію, що описується рівнянням (2).

Параметр  $n$  близький до 0,5 (0,48 ... 0,52, в залежності від індивідуальних особливостей сенсора FS5, що встановлений в потік). Константа  $k$  може набувати значень від 0,9 ... 0,93, в залежності від вирівнювання датчика і профілю потоку. При таких значеннях коефіцієнтів рівняння перетворення витратоміра набуває вигляду, який представлено на рис. 1.

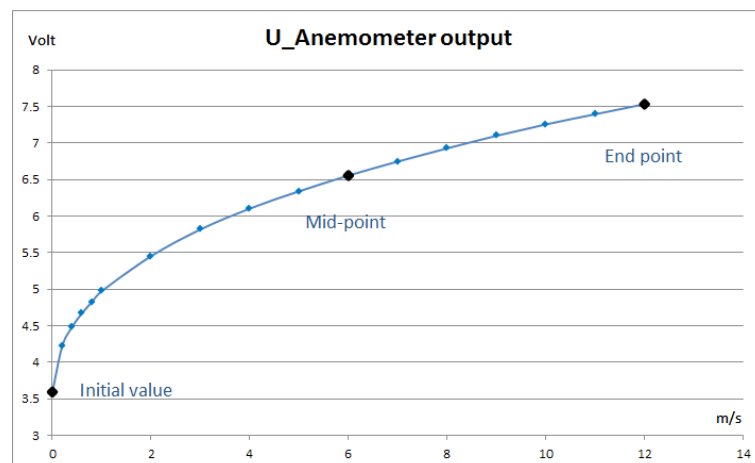


Рис. 1 – Рівняння перетворення витратоміра в діапазоні вимірювання від 0 до 12 м/с  
Значення  $n$  і  $k$  визначається за допомогою калібрування потоку в 3 точках:  
1. Початкове значення (значення  $U_0$  при нульовому потоці):

$$U_0 = 3.6 \text{ В при } v_0 = 0 \text{ м/с} \quad U = 3.6B \cdot \sqrt{1 + k \cdot (0\text{м/с})^n} = 3.6B; \quad (3)$$

Точка знаходиться на нульовому потоці, наприклад, із значенням 3,6 В на аналоговому виході. За допомогою цього регулювання всі допуски товщини стружки, товщини пасивації скла (+/- 10 мкм), а також допуски опорів нагрівача, компенсуються.

2. Серединна діапазону вимірювання:

$$U_{50\%} = 6.6 \text{ В при } v_{50\%} = 6 \text{ м/с} \quad U = 3.6B \cdot \sqrt{1 + k \cdot (6\text{м/с})^n} = 6.6B; \quad (4)$$

3. Верхня межа вимірювання:

$$U_{100\%} = 7.5 \text{ В при } v_{100\%} = 12 \text{ м/с} \quad U = 3.6B \cdot \sqrt{1 + k \cdot (12\text{м/с})^n} = 7.5B. \quad (5)$$

Якщо вважати, що параметр  $n$  завжди може бути встановлений рівним 0.5, то константу можна розрахувати шляхом відношення швидкостей потоку за формулою:

$$k = \frac{\left(\frac{U_{50\%}}{U_0}\right)^2 - 1}{v_{50\%}^n} = \frac{2.36111}{6^{0.5}} = 0.964. \quad (6)$$

Для лінеаризації[2] вихідного сигналу термоанемометричного витратоміра пропонується розраховувати параметра  $k$ , шляхом розв'язання системи до якої входять рівняння (3) – (5). При цьому необхідно задатись значеннями  $U_0$  і  $n$ , а також знати верхню межу вимірювання для присвоєння їй максимального значення вихідної напруги.

Результати лінеаризації представлені на рис. 2 ( $U$  – виміряне значення вихідної напруги в залежності від масової витрати та параметрів  $n$  і  $k$ ).

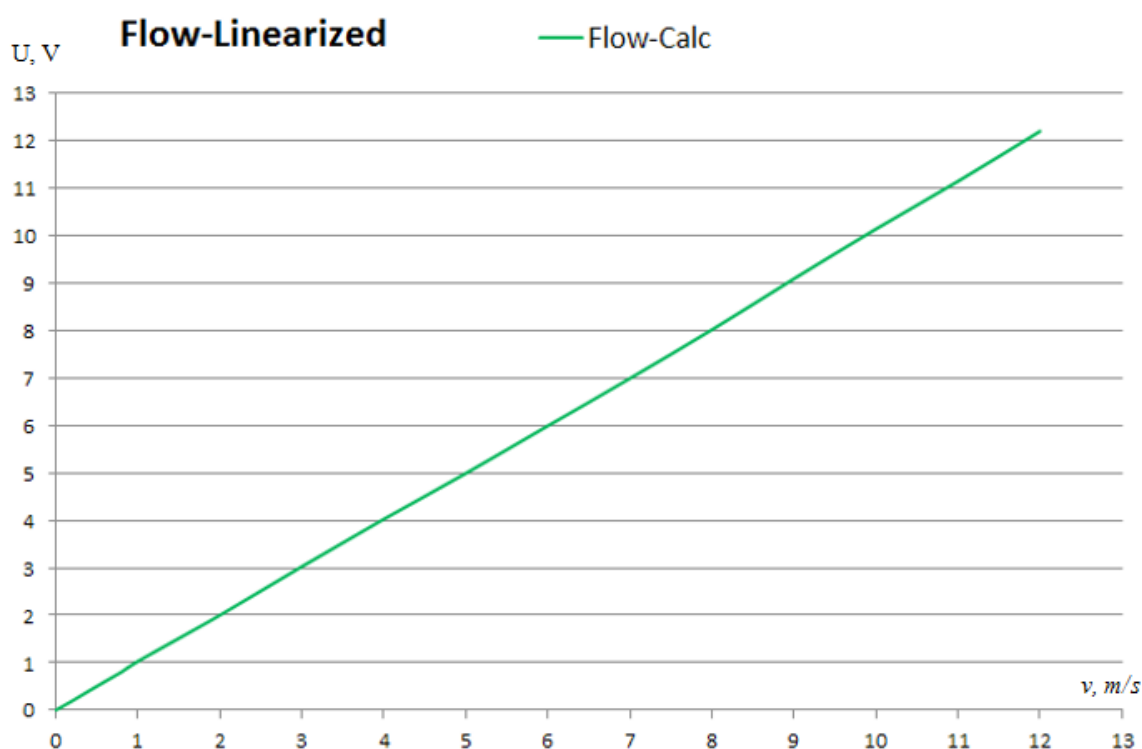


Рис. 2 – Лінеаризоване рівняння перетворення витратоміра

### Список літературних джерел

1. Електронний ресурс. – Режим доступа: [https://www.ist-ag.com/sites/default/files/AFFS5\\_E.pdf](https://www.ist-ag.com/sites/default/files/AFFS5_E.pdf).
2. Васілевський О. М. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення : [навчальний посібник] / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. - Вінниця : ВНТУ, 2010. – 214 с. – ISBN 978-966-641-348-5.

**В. Ю. Кучерук, А. Рабінко, А. Видмиш**

## **РЕАЛІЗАЦІЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ТЕМПЕРАТУРИ НА БАЗІ ARDUINOMEGA 2560**

Програмування, середа розробки, фільтр, усереднення, мікроконтролер, ардуїно, терморпара, температура, реле, вимірювання.

Вимірювання величин є невід'ємною частиною сучасного життя. Воно існує у будь-якій сфері життя людини, в тому чи іншому вигляді. Кожна величина в тій чи іншій мірі важлива для своєї сфери застосування. Наприклад вимірювання температури широко застосовується у багатьох галузях. Якщо брати, наприклад, аграрну галузь, то досить важливо підтримувати комфортну температуру у теплиці, або якщо брати енергетику, то необхідно постійно слідкувати за температурою певних блоків, щоб уникнути аварій або поломок.

Я хотів би розповісти про реалізацію вимірювального каналу температури і контролю модулю реле на базі зчитаних значень на базі мікроконтролерної системи Arduino. Наведена нижче система просто у реалізації і ефективна.

Для того, щоб реалізувати вимірювальний канал температури, необхідно взяти спеціальний модуль терморпари MAX6675, що розроблений спеціально для плат ардуїно, і під'єднати його до мікроконтролерної системи так, як це показано на рисунку 1.

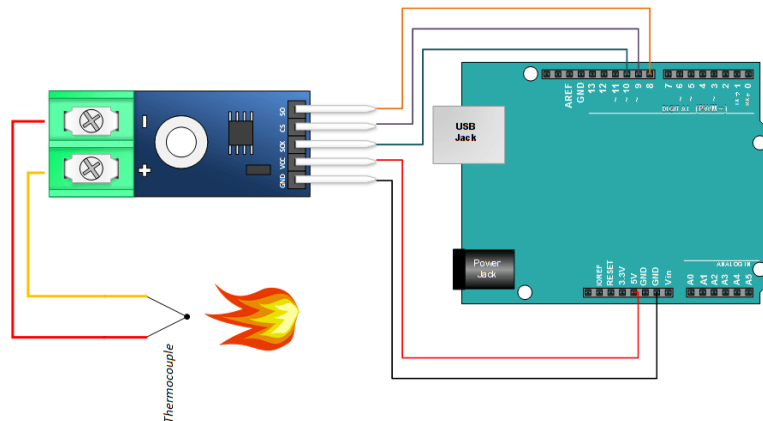


Рисунок 1 – Зображення підключення модуля терморпари до мікроконтролера

Для того, щоб програмно реалізувати зчитування даних з терморпари, необхідно завантажити бібліотеку MAX6675, що містить усі необхідні функції перетворення, і усе, що залишиться зробити – це викликати ці функції передавши усі необхідні аргументи. Також слід зазначити, що дана бібліотека має можливість зчитувати температуру у градусах Цельсія та у Фаренгейтах.

Для того, щоб контролювати модуль реле, необхідно мати певні умови для перемикання реле. Тут можна реалізувати динамічну ручку задання температури на базі змінного резистора. Таким чином, зчитуючи напругу, що змінюється зі зміною опору на певному вході плати, ми отримаємо величину, що ми будемо задавати. Тепер у нас є величина, яку ми будемо задавати, а порівнювати ми її будемо з величиною, що замірює терморпара.



Оскільки завжди існують певні завади, що викривляють сигнал, для їх часткового усунення, можна реалізувати програмний фільтр низьких частот за допомогою алгоритму усереднення, а саме алгоритму усереднення з нескінченною пам'яттю. Формула даного алгоритму має такий вигляд [1]:

$$\hat{s}(k) = \hat{s}(k - 1) + \frac{1}{k} [y(k) - \hat{s}(k - 1)], \quad (1)$$

де  $\hat{s}(k - 1)$  – попередній вимірний сигнал;

$y(k)$  – поточний сигнал;

$k$  – коефіцієнт фільтрації;

Уривок коду з програмною реалізацією фільтра низьких частот зображено на рисунку 2.

```
//filtering of input signal
temperatureOnTermocouplePrevious = temperatureOnTermocoupleCurrent;
temperatureSettedPrevious = temperatureSettedCurrent;

temperatureOnTermocoupleCurrent = temperatureOnTermocouplePrevious +
  ((thermocouple.readCelsius() - temperatureOnTermocouplePrevious)/k);
temperatureSettedCurrent = temperatureSettedPrevious +
  |(((vall*800.0)/1024.0) - temperatureSettedPrevious)/k|;
```

Рисунок 2 – Уривок коду з програмною реалізацією фільтра низьких частот

Як видно з уривку коду, ми беремо попередню величину і сумуємо її з різницею поточної і попередньої вимірної величини, поділеної на коефіцієнт фільтрації  $k$ . Цей коефіцієнт підбирається індивідуально в залежності від потрібної швидкодії і необхідному рівню фільтрації.

Тепер, маючи вхідний сигнал з термопари та його фільтрацію, можна реалізувати схему керування реле на базі вимірювального каналу температури. Схема електрична принципова зображена на рисунку 3. Як було вказано вище, контролювати усе це буде за допомогою ArduinoMega 2560, що базується на процесорі Atmega 2560 (DD1 на рисунку 3). Контролювати реле ми будемо через транзистор КТ3117А (VT1 на рисунку 3). Це зроблено через те, що у більшості випадків потужності, що має на виході мікроконтролер, не вистачає на перемикання реле, а так як транзистор це підсилювач струму, він дозволить без проблем підсилити низький струм з виходу мікроконтролера і дозволить замикати реле. Наприклад, у нашому випадку – це реле TIANBOHJQ-15F-S-Z, що має напругу обмотки у 12 вольт і струм обмотки близько 80 міліампер. Для того, щоб зменшити струм, що буде проходити через транзистор, ми поставимо резистор на 10000 Ом на виході мікроконтролера. В реле головним виконуючим елементом є котушка, що має немалу індуктивність і якщо спробувати стрімко обірвати ланцюг, то потенційна енергія, що накопичилась у електромагнітному полі, буде намагатись вилізти в іншому місці. Так, наприклад, якщо це йде механічний розрив, то можливий повітряний пробій, а якщо обривати ланцюг транзистором – то ми можемо просто привести його у непридатність. Тому, задля того, щоб уникнути цієї ситуації, ми під'єднаємо діод і тоді напруга при розриві пройде через діод. Оскільки ці замикання і розмикання реле негативно впливає на стабільність напруги живлення пристрою, то також непогано включити електролітичний конденсатор на пару сотень мікрофарад. У даному випадку це два паралельно з'єднаних конденсатори по 100 мікрофарад кожен. Тепер ми маємо доволі стабільну схему керування модулем реле [2].

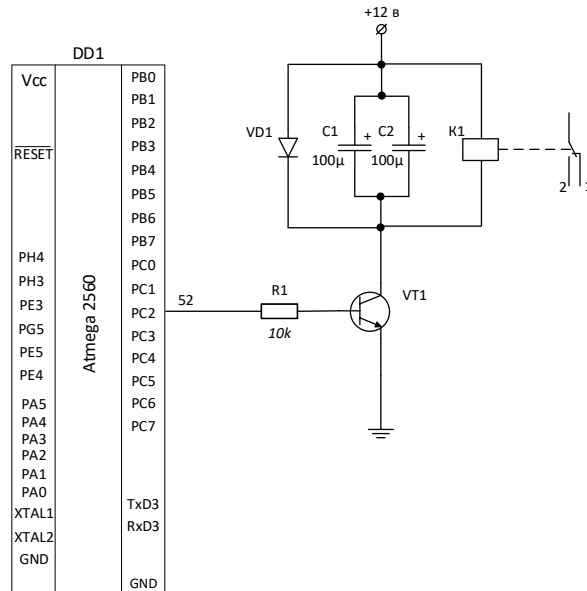


Рисунок 3 – Схема електрична принципова модуля керування реле за допомогою мікроконтролера

Остання річ, яку необхідно зробити – це програмно реалізувати замикання і розмикання ланцюга реле. Для того, щоб замкнути реле, нам необхідно подати напругу на відповідний вихід мікроконтролера і, відповідно, для розмикання ланцюга реле – припинити подачу живлення. Уривок коду з реалізацією замикання і розмикання ланцюга показано на рисунку 4. Як видно, тут ми порівнюємо виміряну температуру з певним діапазоном заданої температури, що рівно  $\pm 3\%$  відхилення від заданої температури. `digitalWrite` – це функція, що відповідає за подання живлення мікроконтролер. Вона приймає два значення: перше відповідає за номер піна, на який буде подаватись живлення, а другий параметр відповідає за рівень цього живлення – нульовий (LOW), або 5 вольт (HIGH). В даному уривкові коду видно, що поки виміряна температура буде менша за задану, то напруга на пін подаватись не буде, а отже реле буде знаходитись в положенні 1, а як тільки виміряне значення стане більшим за задане, то буде подана напруга на відповідний пін і реле перемкнеться у режим 2 (Рисунок 3). Враховуючи непогану швидкодію перемикання реле і доволі потужний мікроконтролер, швидкість перемикання буде доволі висока, що дозволяє використовувати його у високо-інерційних системах.

```
//controlling temperature
if((temperatureOnTermocoupleCurrent < (temperatureSettedCurrent+(temperatureSettedCurrent/100)*3)) {
    digitalWrite(Relay,LOW);
}
if((temperatureOnTermocoupleCurrent > (temperatureSettedCurrent+(temperatureSettedCurrent/100)*3)) {
    digitalWrite(Relay,HIGH);
}
```

Рисунок 4 – Уривок коду з реалізацією замикання і розмикання ланцюга реле

На цьому реалізація вимірювального каналу температури і контролю модуля реле, за допомогою створеної системи, закінчена.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Изерман Р. Фильтры специальных типов / Р. Изерман // Цифровые системы управления / Р. Изерман., 1984. – С. 466.
2. Управление мощной нагрузкой постоянного тока [Електронний ресурс]. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <http://easyelectronics.ru/upravlenie-moshhnoj-nagruzkoy-postoyannogo-toka-chast-1.html>.

Т.І. Ганєва, к.т.н.

**СИНТЕЗ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СЕНСОРА ДЕФОРМАЦІЙ**

Ключові слова: сенсорний елемент, інтелектуальні системи, напружено-деформований стан, чутливість.

Робота сенсорних елементів може бути заснована на різних фізичних принципах - електричних, п'єзоелектричних, оптичних. Проте введення в композиційний матеріал сенсорних елементів, що відрізняються від нього за своєю природою, може призвести до появи структурних неоднорідностей і утворенню внутрішніх напружень.

Тому при створенні подібних матеріалів необхідно, щоб сенсорні елементи відповідали критеріям структурної та механічної сумісності з основним (базовим) матеріалом конструкції, а також відрізнялися стабільністю параметрів в умовах експлуатації виробу (при дії механічних навантажень, вібрацій, в умовах підвищеної вологості і температури). Крім того, слід мати сучасні технічні засоби для знімання та обробки інформації стосовно до певного типу сенсорів [1, 2].

Створення «інформкомполімерів» - матеріалів з вбудованими в їх структуру сенсорними елементами дозволяє уникнути складнощів, пов'язаних з установкою сенсорів або їх відмовами в процесі експлуатації, особливо при дії динамічного навантаження і вібрацій. Їх застосування в елементах відповідальних і силових конструкцій забезпечить перехід до експлуатації авіаційної техніки за фактичним станом [2, 3].

Враховуючи те, що в свою чергу ефективна робота інтелектуальних систем можлива лише за умови забезпечення їх високоякісною первинною інформацією. Це вимагає створення сенсорів на основі нових функціональних матеріалів, широкого використання інформаційних мереж та впровадження високих технологій для реалізації цих засобів. Не менш важливою задачею на сьогодні для задоволення постійно зростаючих потреб сучасної техніки необхідні високочутливі швидкодіючі сенсори, працездатні в складних умовах експлуатації [1, 3].

Отже, сенсори деформації використовуються для різних цілей: вимірювання рівня деформацій і механічних напружень, що виникають у вузлах і конструкціях технологічного обладнання, озброєння, виробів льотної та ракетно-космічної техніки [3].

Найчастіше роль чутливого елемента виконують тензорезистори, які закріплюються на підкладці або об'єкті вимірювання спеціальними клеями або клейовими композиціями.

В даний час на практиці використовуються тензорезистори, які є базовими елементами сенсора деформації: дрові, фольгові і напівпровідникові тензорезистори, особливо перші і другі [3, 4].

Проведений нами аналіз структури, фізико-механічних властивостей і технологічних особливостей виготовлення вуглепластика, а також зовнішніх впливів в процесі експлуатації показав, що вуглецеве волокно для тензорезисторного сенсорного елемента, здатного контролювати деформаційний стан при навантаженні, повинно мати: лінійну діаграму деформування при навантаженні аж до  $0,9\sigma_b$ ; високий питомий електричний опір, що забезпечує можливість створення сенсорного елемента з номінальним електричним опором не менше (50...100) Ом на базі вимірювання (150...200) мм; високий коефіцієнт тензочутливості при розтягуванні і стисненні; малу повзучість в діапазоні температур (20...150) °С (не більше (1...2) % протягом 1 год при деформації  $2 \cdot 10^{-3}$  ОВД); малий температурний коефіцієнт електричного опору при розтягуванні і стисненні; високу стабільність перерахованих характеристик при багаторазових знакозмінних навантаженнях і тривалій експлуатації [1-4].

Як модельні зразків сенсорних елементів використовували як чисті вуглецеві волокна, так і мікропластики на основі епоксидного сполучного. Досліджувані зразки вибирали з умови, що їх мінімальне початкове електричний опір становило (50...75) Ом при базі вимірювання (400...550) мм; розкид опору на зразках однієї партії – (1...3) Ом. В результаті були отримані діаграми деформування і зміни електричного опору від прикладеного навантаження  $R = f(P)$ . Номінальний електричний опір зразка визначали з точністю 0,05 Ом.

Далі балку в градуйованій установці навантажували від деформації  $\varepsilon = 0$  до  $\varepsilon = +\varepsilon_{пр}$  ( $-\varepsilon_{пр}$ ) і розвантажували. Навантаження і розвантажування в інтервалі від  $\varepsilon = 0$  до  $\varepsilon = \varepsilon_{пр}$  проводили рівними п'ятьма - сімома ступенями, включаючи  $\varepsilon = 0$ . На кожному ступені навантажування і розвантажування визначали вихідні сигнали  $\zeta(\varepsilon)$  тензорезисторів [1, 3, 4].

Чутливість кожного датчика визначасмо за формулою

$$K_i = \frac{|\bar{\xi}(+\varepsilon_H)| + |\bar{\xi}(-\varepsilon_H)|}{2\varepsilon_H},$$

де  $\bar{\xi}(\varepsilon)$  – вихідний сигнал тензорезисторів;  $\varepsilon_H$  – деформація зразка при навантаженні та розвантаженні.

На рис. 1 наведені порівняльні результати, отримані на зразках-датчиках, сенсорні елементи яких виготовлялися з константана, а також вуглецевої нитки з стрічки ЛЖУ-35 і волокна УКН-М/3К.

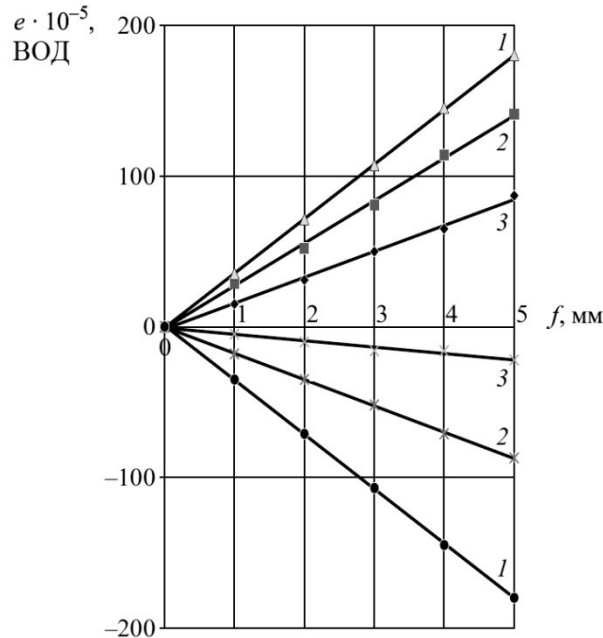


Рис. 1 – Порівняльні залежності для зразків з різними типами тензорезисторних сенсорних елементів і різними коефіцієнтами тензочутливості  $K$  при розтягуванні/стисканні  
 1 - датчик з константановою решіткою,  $K = 2,00$ ; 2 - датчик з вуглецевого джгута ЛЖУ-35,  $K = 1,55/0,97$ ; 3 - датчик з вуглецевого джгута УКН-М/3К,  $K = 0,98/0,23$

Кращі результати отримані при використанні вуглецевих джгутів ЛЖУ-35ВМ ( $K_p = 1,4$ ;  $K_{сж} = 1,2$ ) і Граніт 40П ( $K_p = 1,1$ ;  $K_{сж} = 1,05$ ).

Аналіз напружено-деформованого стану таких зразків проводився при статичному і повторно-статичному навантаженнях [1-4]. Обрані параметри та критерії для виготовлення тензорезисторних сенсорних елементів, а також наведено методи виготовлення сенсорних елементів, а також введення їх в композиційний матеріал.

Список літературних джерел:

1. Озаренко А.В. Исследование влияния деформации на сопротивление полупроводниковых управляемых тензорезисторов / А.В. Озаренко // Наука и устойчивое развитие общества. Наследие В. И. Вернадского: сб. материалов II Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов, 2007. – С. 76-78.
2. Дружинин А.А. О возможности создания высокочувствительных пьезорезистивных сенсоров механических величин для криогенных температур / А.А. Дружинин, И.И. Марьямова, А.П. Кутраков, И.В. Павловский // Датчики и системы. – 2005. – № 7. – С. 17-21.
3. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Т.1./ ред. З.Ю. Готри. – Львів: Ліга-Пресс, 2002. – 475с.
4. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: Т.2. / ред. З.Ю. Готри. – Львів: Ліга-Пресс, 2003. – 595с.

О.В. Заболотний, к.т.н., доц.

## ПЕРВИННИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВМІСТУ ВОЛОГИ РЕЧОВИН, В ЯКОМУ КОНСТРУКТИВНО РЕАЛІЗОВАНО ПРИНЦИП ДОДАВАННЯ ВОДИ

Вміст вологи, дієлькометричний вологомір, діелектрична проникність, «сортова невизначеність», первинний перетворювач, тестові методи вимірювань, система електродів з гідрофобним покриттям, вимірювальні зони, група металевих пластин

**Вступ.** Станом натепер дієлькометричний принцип контролю вмісту вологи є найбільш розповсюдженим [1]. Його переваги – простота реалізації, можливість експресного контролю, задовільна точність тощо. Одним з важливих недоліків ємнісних вологомірів є наявність так званої «сортової невизначеності». Її присутність на пряму пов'язана з тим, що різні діелектричні речовини мають відмінні значення діелектричної проникності у зневодненому стані.

**Аналіз сучасних досліджень і публікацій.** У джерелі [1] представлено велике різноманіття способів компенсації «сортової невизначеності». Наприклад, сучасні вологоміри типу Wile-55, GrainMaster, Farmpoint, MultiGrain і Kett різних модифікацій, GAC500 та інші споряджені калібрувальними таблицями для визначення груп матеріалів. Через бажання створити універсальний прилад для контролю вмісту вологи широкого спектру речовин було здійснено спробу суттєво зменшити вплив «сортової невизначеності» на результат вимірювання безпосередньо у ємнісному первинному перетворювачі.

Для вирішення цієї задачі було виявлено один перспективний спосіб. Він полягає у використанні тестових методів підвищення точності вимірювань. Йдеться про визначення параметрів статичної функції перетворення засобу вимірювання за допомогою додаткових тестів, функціонально пов'язаних з об'єктом контролю. Для задачі визначення вмісту вологи тестові впливи повинні здійснюватись у формі певної кількості добавок води в досліджувану речовину. Використовуючи значення діелектричної проникності після кожного тестового впливу, можливо обчислити початковий вміст вологи бінарної суміші матеріал-вода [2, 3].

**Мета дослідження.** Теоретичне обґрунтування можливості створення первинного перетворювача вмісту вологи, в якому тестові впливи на досліджувану речовину реалізовані безпосередньо в конструкції, і проведення експериментальних досліджень на предмет перевірки працездатності такого перетворювача разом із запропонованим тестовим алгоритмом для обчислення початкового вмісту вологи досліджуваної речовини.

**Наукові результати.** Перед безпосередньою реалізацією тестових впливів було необхідно встановити для кожного з них актуальну кількість вологи, що буде додаватись у досліджувану речовину. З цією метою було обрано групу матеріалів із значеннями діелектричної проникності  $\varepsilon_n$ , які відповідно дорівнюють 2, 2,5, 3 і 3,5. Далі було призначено об'ємний вміст вологи  $W$  цих матеріалів у кількості 0, 10, 20, 30 і 40 %. Для обчислення значень діелектричної проникності отриманих бінарних систем було обрано математичні залежності, які найбільш часто зустрічаються у наукових джерелах: формули Вінера, Нільсена, Бругемана, Кубо-Накамури, Ботчера, Ліхтенекера і Оделевського [1]. Мета такої перевірки – встановити, на яку величину у процентному співвідношенні буде змінюватись діелектрична проникність бінарної суміші для конкретних об'ємів доданої води і для різних речовин. Це дозволило оцінити середню зміну діелектричної проникності бінарної суміші в контрольних точках (таблиця 1).

Таблиця 1 – Середня зміна діелектричної проникності

	Об'ємний вміст вологи $W$ , (абсолютні одиниці)				
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4
Середня зміна $\varepsilon$ , %	0 %	27.64 %	59.74 %	97.12 %	141.03 %

У джерелі [4] описано цікавий експеримент, який доводить, що для реалізації тестових впливів у міжелектродному просторі ємнісного первинного перетворювача зовсім не обов'язково додавати воду у вільному стані або всередині герметичних капсул певної форми. З достатньо високим рівнем наближення можна обмежитись застосуванням металевих пластин певної конфігурації.

Первинний перетворювач утворено системою електродів 1 (рисунок 1) у формі V-подібних пластин. Система електродів кріпиться на внутрішній поверхні двох діелектричних кілець 2 і 3. Для зручності кріплення металевих пластин в конструкцію уведено два внутрішні діелектричні кільця 4 і 5. [5, 6]. Тестові впливи на матеріал відтворюються безпосередньо у первинному перетворювачі шляхом уведення в його міжелектродний простір двох груп металевих пластин 6 і 7 різної товщини.

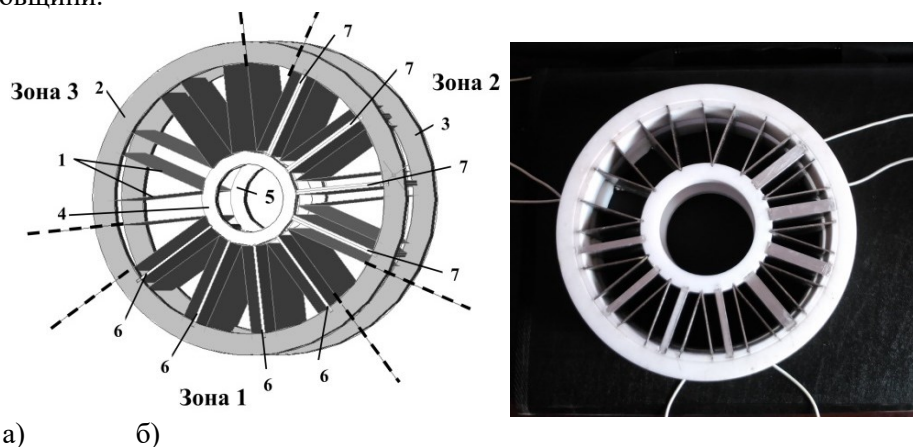


Рисунок 6.6 – Ємнісний первинний перетворювач: а – теоретична модель; б – дослідний зразок

Для імітації десятивідсоткової і двадцятивідсоткової добавок води в зону 1 і зону 2 перетворювача уведено дві групи металевих пластин з товщиною, яка збільшує електричну ємність конденсаторів зони 1 на 27.64 %, а конденсаторів зони 2 – на 59.74 % згідно з даними таблиці 1.

**Висновки.** Експерименти з такими матеріалами як перлова крупа, мак, пшоно, горох, пшениця, автомобільне масло і мазут показали, що обчислені за результатами вимірювання електричних ємностей конденсаторів в зонах 1, 2 і 3 значення вмісту вологи знаходяться в межах методичної невизначеності використаного для обчислення тестового алгоритму.

#### Список використаних джерел.

1. S. O. Nelson, S. Trabelsi (2014) “A century of grain and seed moisture measurement by sensing electrical properties” *Transactions of the ASABE*. Vol. 55, No. 2. – pp. 629–636.

2. Заболотный А.В. Применение тестового подхода для обеспечения инвариантности диэлектрических влагомеров к сорту вещества [Текст] / Е. Ю. Голуб, А. В. Заболотный, Н. Д. Кошевой // *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*. – 2014. – № 4 (68). – С. 60–66.

3. Заболотный О.В. Порівняльний аналіз тестових методів підвищення точності діелектричних вологомірів [Текст] / К. Ю. Голуб, О. В. Заболотний // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. – 2015. – № 1 (54). – С. 112–119.

4. Машуков Ю.П. О влиянии запотевания стенок кюветы на параметры датчиков диэлектрических влагомеров / Ю.П. Машуков, В.В. Христофоров // *Известия вузов. Приборостроение*. – 1989. – № 2. – С. 44–48.

5. Заболотный А.В. Эволюция первичных измерительных преобразователей влажности нефтепродуктов [Текст] / А.В. Заболотный, В.А. Заболотный, Н.Д. Кошевой // *Радиоэлектронні комп'ютерні системи*. – 2007. – № 5 (24). – С. 99–102.

6. Пат. UA 107722 C2 Україна, МПК G01N 27/22. Первинний перетворювач вологості нафтопродуктів адаптивного вологоміра [Текст] / Голуб К. Ю., Заболотний О. В., Кошовий М. Д.; заявник і патентовласник Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», № a201303175 ; заявл. 15.03.2013 ; опубл. 10.02.2015, Бюл. № 3–4 с., іл.

**В. Ю. Кучерук, д.т.н., професор; М. В. Ліщун, студент, В. Тихонов**

## **МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ КОРЕЛЯЦІЙНИЙ ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ РІДИНИ**

Ключові слова: витратомір, засіб вимірювання техніки (ЗВ), витрати, рідина.

Сьогодні поряд із традиційними широко впроваджуються сучасні ЗВ витрат, створені на основі нових технологій. Велика різноманітність ЗВ витрат вимагає при цьому знання основних методів і засобів вимірювання для правильного їхнього вибору. Для вимірювання витрат рідини, потрібно звертати увагу на саму рідину, тобто на її густину, температуру, вміст домішок та фізичні чи хімічні властивості. Тому, актуальність даної роботи в тому, що вимірювання витрат рідини є широко розповсюдженим в галузях промисловості, в комерційних напрямках. Будова цього приладу дає змогу не взаємодіяти з речовиною. Це є актуально для вимірювання витрат рідин які можуть, з часом, виводити з ладу витратоміри через вміст домішок або через свою неоднорідну структуру.

Для вирішення поставленої задачі пропонується розробити прилад, робота якого полягає в наступному: Робота пристрою починається з проходження через об'єкт вимірювання ОВ випромінювання, яке надходить з світлового випромінювача СВ. Світлове випромінювання відбивається від рідини, яка там протікає та відбите випромінювання попадає на фотоприймачі ФП. В наслідок цього, на виході фотоприймача утворюється струм, який на операційному підсилювачі, завдяки наявності зворотного зв'язку утворює напругу. Утворена напруга з фотоприймачів є майже однаковою, але через різницю фаз між ними має несуттєві відмінності. Далі напруга поступає на мікроконтролер MCU, який визначає різницю фаз між напругами та знаходить її пікове значення. Дане значення і є шуканим для кожного вимірювального каналу. Ці значення з двох каналів поступають на мікроконтролер.

Проаналізувавши роботу даного приладу та принцип його вимірювання, можна зробити наступний висновок, що значення на виході кореляційного витратоміру буде залежати від якості світлодіодів та фотодіодів, будови елементів приладу, та відстанню між парами світлодіодів та фотодіодів. Врахувавши данні чинники можна не тільки розробити новий засіб вимірювання витрат рідини, а й вдосконалювати точність вимірювань даного засобу.

### Список літературних джерел

1. Н. Зханг, Я. Дворак, Ю. Зханг – Кореляція на основі оптичного витратоміру для закритих потоків / Н. Зханг, Я. Дворак, Ю. Зханг – Американське суспільство сільськогосподарських інженерів – 2013. – 12 с.
2. Білинська М.Й. – Класифікація вимірювальних перетворювачів параметрів витрату рідини // Електронні інформаційно – енергетичні технології. – 2002. – №2. – С. 122 – 131.
3. Аш Ж. Датчики измерительных систем. – М.: Мир, 1992. – 424 с.
4. Коган Л.М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 208 с.
5. Форсайт Дж., Малькольм., Моулер Р. Машинные методы математических вычислений. – М.: Мир, 1980.

**П.І.Кулаков, д.т.н., проф.; А.А.Видмиш, к.т.н., доц.; Р.С.Білієнко, магістрант;  
А.П.Кулакова, студент**

## **ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ МИТТЄВОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ МОЛОКОВІДДАЧІ**

Ключові слова: молоковіддача, параметри молоковіддачі, інтенсивність молочного потоку.

Доїльний апарат з функцією керування процесом доїння, змінюючи режими пульсацій вакууму в залежності від інтенсивності молоковіддачі, налаштовується на фізіологічні особливості конкретної тварини. Вимірюючи інтенсивність молоковіддачі і здійснюючи у відповідності з її значенням управління процесом доїння, можна забезпечити його наближення до оптимального. Перспективним є непряме вимірювання цих параметрів на основі результатів прямого вимірювання інтенсивності молоковіддачі, результати якого використовуються для управління процесом доїння. Розглянемо запропонований фотоелектричний вимірювальний перетворювач миттєвої інтенсивності молоковіддачі [1, 2]. В процесі доїння молоко з колектора доїльного апарата на шляху до молокопроводу проходить через шланг, у якому закріплений фотоелектричний вимірювальний перетворювач інтенсивності молочного потоку. Перетворювач складається з двох джерел інфрачервоного випромінювання, які знаходяться з однієї сторони його трубки, двох фотоприймачів F1 та F2 на основі пари фотодіод-операційний підсилювач, які знаходяться на протилежній стороні трубки, двох порогових пристроїв C1 та C2 з великим значенням гістерезису, мікроконтролера. Молоко, яке протікає через трубку, завжди має бульбашки повітря (піну). При проходженні через трубку молока з піною, потік інфрачервоного випромінювання проходить крізь певну бульбашку повітря і потрапляє на фотоприймач F1. В результаті його вихідна напруга  $U_{F1}(t)$  збільшується, за допомогою порогового пристрою C1 вона порівнюється з напругою  $U_{REF}$ . На виході порогового пристрою C1, протягом часового проміжку, коли  $U_{F1}(t) > U_{REF}$ , формується прямокутний імпульс  $U_{PP1}(t)$ , який надходить на дискретний вхід мікроконтролера. Після цього, вказана вище бульбашка, рухаючись разом з молочним потоком, проходить навпроти фотоприймача F2. Внаслідок цього вихідна напруга  $U_{F2}(t)$  збільшується. Пороговий пристрій C2 порівнює напругу  $U_{F2}(t)$  з  $U_{REF}$ , в результаті на його виході, коли  $U_{F2}(t) > U_{REF}$ , формується прямокутний імпульс  $U_{PP2}(t)$ , який надходить на інший вхід мікроконтролера. За допомогою мікроконтролера здійснюється вимірювання часового інтервалу  $T_{MP}$  між передніми фронтами імпульсів  $U_{PP1}(t)$  та  $U_{PP2}(t)$ . Цей часовий інтервал відповідає проходженню бульбашкою повітря відстані  $l_{MP}$  між двома фотоприймачами. Миттєва інтенсивність молоковіддачі під час проходження  $i$  - ї бульбашки повітря, визначається виразом

$$I_{MV i} = V_{MP} / T_{MP i} = \pi D_{MP}^2 I_{MP} / 4 T_{MP i} \quad (1)$$

Визначене за допомогою мікроконтролера миттєве значення інтенсивності молоковіддачі передається до блоку забезпечення процесу доїння. У багатьох доїльних апаратах з функцією керування процесом доїння існує певна кількість режимів роботи, зміна яких відбувається за досягненням миттєвої інтенсивності молоковіддачі певних порогових значень, тобто здійснюється дискретне управління процесом доїння. В результаті експериментальних досліджень наведеного перетворювача інтенсивності молоковіддачі встановлено, що його похибка первинного перетворення складає 15–20 % та розподілена за нормальним законом.

### **Список літературних джерел**

1. Кулаков, П. І. Елементи теорії вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння / П. І. Кулаков. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 220 с.
2. Пристрій для вимірювання кількості молока та інтенсивності молочного потоку : Патент на корисну модель 92637 Україна: G01M 1/22 / Кучерук В. Ю., Паламарчук Є. А., Кулаков П. І., Гнесь Т. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет ; заявл. 31.03.2014 ; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16. - 3 с.



**В. Ю. Кучерук, д.т.н., професор; О. О. Кучерук, студент**

## **ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНИЙ ДАТЧИК ШВИДКОСТІ ПОТОКУ**

**Ключові слова:** витратомір, швидкість потоку, термоанемометр, коефіцієнт теплопередачі, чутливість.

Вимірювання параметрів рідких та газоподібних речовин широко застосовують у різних галузях народного господарства, зокрема, в нафтодобувній промисловості, нафтогазотранспортних системах, харчовій промисловості тощо.

Головними параметрами руху потоків рідин та газоподібних речовин є витрати – кількість речовини, що протікає через поперечний переріз трубопроводу за одиницю часу [1].

Похибки вимірювань витрат в промислових умовах становлять 1–2 %, хоча в окремих галузях спостерігається тенденція її зменшення до рівня 0,2–0,5 %.

Актуальність вимірювання витрати рідини, газу та пари полягає в необхідності максимальної економії енергетичних і водних ресурсів країни. Зниження похибки вимірювань хоча б на 1% може забезпечити багатомільйонний економічний ефект.

Термоанемометричні датчики засновані на зміні коефіцієнту теплопередачі, який є функцією швидкості потоку. Такі датчики використовують принципи теплопередачі, щоб визначити швидкість потоку середовища.

Швидкість потоку змінює втрати теплової енергії нагрівачем: коли потік проходить через датчик, тепло переноситься з датчику в потік. По мірі збільшення швидкості потоку, збільшується і кількість тепла, яке передається, а це означає, що збільшення швидкості призводить до охолодження. Цей ефект призводить до зміни коефіцієнта теплопередачі. Отже, охолодження є функція потоку маси [2].

Застосовуючи контролери, може бути досягнута постійна різниця температур між нагрівачем і датчиком температури. Цей принцип вимірювання називається «анемометр постійної температури» (Constant Temperature Anemometer - СТА). Додана електрична потужність, яка контролює різницю температур, є функцією від швидкості потоку.

Потужність перетворюється в вихідний сигнал напруги з мостовою схемою, і може бути легко зчитана. Знаючи температуру середовища, швидкість потоку може бути визначена з кількості компенсації напруги, необхідної для підтримки постійної різниці температур. Діапазон вимірювань витрати дуже широкий і може бути відрегульований для конкретного застосування. Через електронний ланцюг, можна збільшити температуру нагрівача відповідно до температури середовища. СТА-режим складається з простого ланцюга зворотного зв'язку для регулювання температури нагрівача на датчику витрати, а швидкість потоку змінює втрати теплової енергії нагрівачем.

Дослідимо вплив температури перенагрівання  $\Delta T$  ЧЕ (чутливого елемента) на чутливість термоанемометра постійної температури. Відомо, що коефіцієнт розсіяння визначається як кількість теплоти, що віддається ТЧЕ (термочутливий елемент) в одиницю часу при різниці температур між поверхнею і повітряним потоком, рівній одному градусу:

$$H = \frac{P_1}{T_w - T_g}, \quad (1)$$

де  $P_1$  – потужність, що розсіюється ТЧЕ;  $T_w$  і  $T_g$  – температура ЧЕ і газу відповідно. В усталеному режимі роботи термоанемометра потужність, що розсіюється в потоці,  $P_1$  рівна потужності  $P_2$ , що підводиться до ТЧЕ:

$$P_1 = P_2 = \frac{U^2}{R_t}, \quad (2)$$

де  $U$  – напруга, прикладена до ЧЕ;  $R_t$  – опір ЧЕ. Підставимо вираз  $P_1$  з (2) в (1), запишемо відносно напруги, отримаємо

$$U = \sqrt{(T_w - T_g) \cdot R_t \cdot H}. \quad (3)$$

З (3) випливає, що корисний сигнал термоанемометра залежить від температури перенагрівання, опору ТЧЕ і коефіцієнта розсіяння, який, в свою чергу, залежить від швидкості

поток газу [3]. Остання залежність лежить в основі роботи термоанемометра. Визначимо чутливість термоанемометра за швидкістю:

$$S_v = \sqrt{(T_w - T_g) \cdot R_t} \cdot \frac{dH^{0.5}}{dv_p}. \quad (4)$$

З отриманого виразу випливає, що чутливість термоанемометра тим вище, чим більше добуток перенагрівання на опір ЧЕ  $(T_w - T_g) \cdot R_t$ .

**Висновки.** Очевидно, що в випадку застосування в якості ТЧЕ термоанемометра дротового або плівкового датчика з металу (вольфрам, платина та ін.), чутливість термоанемометра буде тим вище, чим більше перенагрівання ТЧЕ. Це пояснюється тим, що метали мають позитивний температурний коефіцієнт опору (ТКО).

**Список літературних джерел:**

1. Кованько В.В., Древецький В.В., Христюк А.О. Загальнотехнічні вимірювання та прилади. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2013. – 189 с.

2. Thermal Mass Flow Sensor FS5. Data sheet. <http://www.ist-ag.com>

3. Український Ю. Д. Визначення та забезпечення оптимальних теплових режимів термісторних термоанемометрів постійної температури Український Ю. Д. Визначення та забезпечення оптимальних теплових режимів термісторних термоанемометрів постійної температури / Ю. Д. Український, Д.Н. Кузнецов, Д. Е. Балюра // Зб.наук.пр. ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2007. –Вип. 12 (118). –С.177–182.

**Б.М. Горкунов, д.т.н., проф.; С.Г. Львов, к.т.н., доц.; А.А. Тищенко, к.т.н., старший викладач; Шібан Тамер, аспірант**

## **ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ БАГАТОПАРАМЕТРОВИЙ МЕТОД КОНТРОЛЮ ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИРОБІВ**

Ключові слова: електромагнітний контроль, трансформаторний перетворювач, просторово-періодичне поле, просторова гармоніка, електромагнітні параметри.

В даний час особливий практичний інтерес представляє розвиток багатопараметрових методів вимірювань, які дозволяють отримувати найбільш повну інформацію про об'єкт контролю і визначати фізико-технічні параметри багатопараметрових структур [1]. У зв'язку з цим незаперечні переваги мають електромагнітні методи та пристрої, вихідні сигнали яких залежать від багатьох параметрів об'єкта контролю і характеристик датчика. Вихідні сигнали датчика несуть інформацію про магнітні, електричні та геометричні параметри об'єкта контролю [2].

Розробка методики та пристрою безконтактного спільного визначення магнітної проникності  $\mu_r$ , питомої електричної провідності  $\sigma$  і радіусу виробу  $a$  для перетворювачів з просторово-періодичними магнітними полями, що виникають через неоднорідності поля, є досить актуальним завданням і представляє практичний інтерес.

В роботі [3] наведені співвідношення для розподілу значень напруженості складових магнітного поля. Таким чином, при відомих значеннях  $\mu_r$ ,  $\sigma$ ,  $a$  виробу, відстані від центру феромагнітного виробу до провідника зі струмом  $d$ , струму  $I$  та поточного радіуса  $r$  можна обчислити функції  $f_n(r, \varphi, t)$  і  $g_n(r, \varphi, t)$  для будь-якої просторової гармоніки, а ним скласти картину розподілу поля в будь-якій області, навколо об'єкту контролю.

При створенні пристроїв з просторово-періодичними полями доцільно використовувати трансформаторні датчики, у яких вимірювальні обмотки розміщуються на радіусах  $r=a_n$ , менших, ніж радіуси збуджуваних полюсів  $a_n$ . Це дозволяє виділити кілька перших переважаючих гармонік, оскільки інші загасають за показником  $(a_n/a_n)^{n-1}$ .

Вимірювальні обмотки можуть пронизувати  $H_r$  або  $H_\varphi$  складові напруженості магнітного поля. У першому випадку площину вимірювальної обмотки повинна бути перпендикулярна до координати  $r$ , а в другому випадку - координаті  $\varphi$ . З метою проведення багатопараметрових вимірювань, зручно користуватися нормованою внесеною  $r$ -ю складовою магнітного потоку (або внесеною складовою ЕРС)  $n$ -ї просторової гармоніки.

Для визначення трьох параметрів виробу ( $a$ ,  $\mu_r$  та  $\sigma$ ) доцільно використовувати дві будь-які просторові гармоніки поля [3]. З точки зору досягнення високої чутливості та точності вимірювань в намагнічуючій системі з одним збуджувальним полюсом краще виділяти першу та другу гармоніки. Тоді для спрощення багатопараметрових вимірювань, потрібно ввести безрозмірні параметри, які дають можливість побудувати універсальні залежності, що зв'язують сигнали датчика і характеристики виробу, які дозволяють вирішувати зворотню задачу знаходження  $a$ ,  $\mu_r$  та  $\sigma$  по виміряним параметрам (амплітуда і фаза) датчика.

Електромагнітний багатопараметровий контроль полягає в проведенні певної послідовності вимірювальних і розрахункових операцій для отримання інформативних параметрів об'єктів контролю. При цьому здійснюється одночасне визначення  $\mu_r$ ,  $\sigma$  та  $a$  виробів на основі вимірювання амплітуди і фази однієї або декількох просторових гармонік результуючого магнітного поля. Останнє дозволяє оцінити розподіл електромагнітних параметрів по перетину виробу. При цьому магнітні поля всіх просторових гармонік змінюються в часі з однією і тією ж частотою намагнічуючого струму. Таким чином, багатопараметровий електромагнітний метод контролю забезпечує його застосування в інформаційно-вимірювальних системах.

Список літературних джерел:

1. Горкунов Б.М. Исследование токопроводящих слоистых структур вихретоковым методом / Б.М. Горкунов, И.В. Тюпа, А.А. Тищенко // Вестник НТУ «ХПИ». – 2011. – №48. – С. 118–121.
2. Бакунов А.С. Контроль механических свойств алюминиевых сплавов электромагнитным методом / А.С. Бакунов // Дефектоскопия. – 1995. – №2. – С. 61–67.
3. Горкунов Б.М. Многопараметровый электромагнитный контроль токопроводов в пространственно-периодических полях / Б.М. Горкунов, А.А. Тищенко, И.Б. Горкунова // Актуальні проблеми автоматики і приладобудування. – 2014. – С. 39–40.

П. І. Кулаков, д.т.н., К. О. Зубенко, магістр

## МЕТОДИКА ПОВІРКИ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ МОЛОКА У МОЛОКОПРИЙМАЛЬНІЙ КАМЕРІ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА

Ключові слова: автоматизація, продуктивність, інформаційно-вимірювальна система, контроль, ефективність.

Одне з провідних місць в агропромисловому комплексі України посідає молочна промисловість. Її основу складає комплекс взаємозв'язаних процесів та операцій, які утворюють системи і технології утримання тварин та виробництва сирого молока. У теперішній час, на більшості молочних ферм України та інших країн, рівень механізації та автоматизації в середньому не перевищує 60 - 65 %, що значно збільшує собівартість сирого молока.

При сучасному стані виробництва молока, в умовах незадовільно розвинутої автоматизації, ступінь підвищення продуктивності праці в одиницях виробленої продукції, при використанні традиційних технологій утримання, годівлі та доїння, досягнув свого максимального значення. Внаслідок недостатнього рівня цих технологій, потенційні можливості тварин за продуктивністю використовуються на 60 - 70 %.

Важливою складовою процесу підвищення інтенсифікації та ефективності виробництва молока є удосконалення та впровадження інформаційно-вимірювальних технологій. Таким чином, основним завданням перевірки засобу вимірювання рівня молока є підвищення рентабельності тваринницького комплексу в цілому, зниження витрат на утримання тварин, підвищення ефективності їх експлуатації [1].

В роботі пропонується розглянути схематичне креслення молокоприймальної камери доїльного апарата (рис.1). Під дією пульсуючого вакууму, який утворюється за допомогою пульсатора в доїльних стаканах, молоко з колектора всмоктується через піновідділювач в молокоприймальну камеру. У цій камері розташований певний первинний вимірювальний перетворювач рівня рідини та зливний електрочлапан. В процесі доїння рівень молока в молокоприймальній камері збільшується.

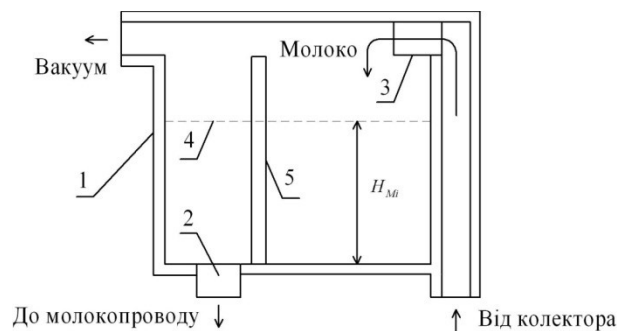


Рис.1 – Схематичне креслення молокоприймальної камери доїльного апарата: 1 – корпус камери; 2 - зливний електрочлапан; 3 – піновідділювач; 4 - рівень молока; 5 – вимірювальний перетворювач рівня рідини

Позначимо через  $S_M$  площу дна молокоприймальної камери, тоді об'єм  $i$ -тої порції молока визначається виразом

$$V_{Mi} = S_M H_{Mi}, \quad (1)$$

де  $H_{Mi}$  - рівень молока в камері перед скиданням  $i$ -тої порції.

Разовий удій тварини визначається виразом

$$V_R = S_M \sum_{i=1}^{N_M} H_{Mi} = \sum_{i=1}^{N_M} V_{Mi} , \quad (2)$$

де  $N_M$  - кількість порцій молока, скинутих в молокопровід на протязі тривалості доїння однієї тварини[2].

В роботі пропонується схема повірки засобу вимірювання рівня молока (рис.2).

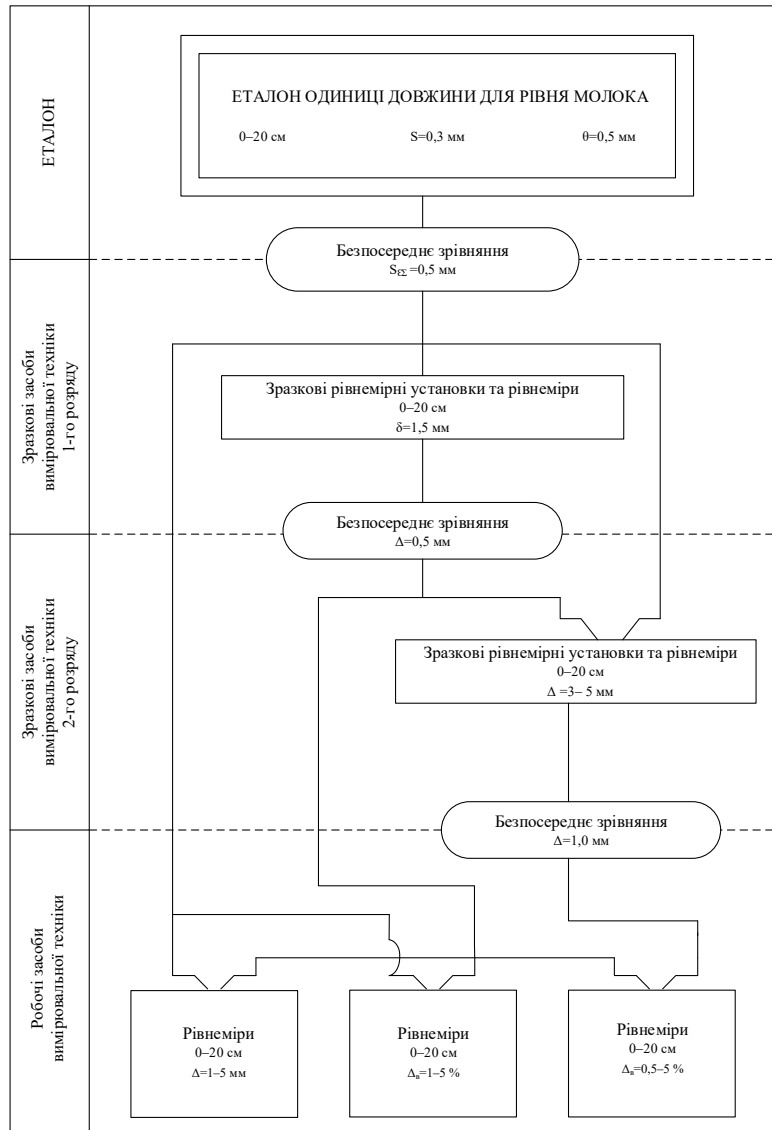


Рис.2 – Схема повірки засобу вимірювання рівня молока

Виходячи з цього, подальший розвиток теорії і практики розробки та впровадження методики повірки засобу вимірювання рівня молока, з метою покращення їх характеристик, є важливим [3].

Список літературних джерел:

1. Кулаков П.І. Методи та засоби контролю параметрів технологічного процесу виробництва коров'ячого молока : дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук / П.І. Кулаков – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 101 с.
2. Кулаков, П. І. Статистичні моделі тривалості машинного доїння / П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи). – Черкаси, 2015 – 301 с.
3. ДСТУ 3497:2015 «Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання рівня рідини».

**К. В. Овчинников, к.т.н.; А. В. Власюк, магістрант**

## **ВИЗНАЧЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАТЕРІАЛІВ НА НИЗЬКИХ І ВИСОКИХ ЧАСТОТАХ**

Ключові слова: діелектричні параметри матеріалів, діелектрична проникність, тангенс кута втрат, діелектрик, діапазон частот, вимірювання, точність.

На сьогоднішній день синтез і дослідження нових діелектричних матеріалів із заданими властивостями та розробка на їх основі електронних приладів є актуальною темою. Сукупність методів кількісного визначення речовини та дослідження її молекулярної структури, які ґрунтуються на вимірюванні діелектричної проникності і тангенса кута діелектричних втрат [1], дає змогу отримати інформацію про будову матеріалів, форму та геометричні розміри, вміст вологи у різноманітних середовищах, а також структурні зміни, що проходять під дією зовнішніх факторів. Діелектричні параметри матеріалів становлять інтерес для широкого кола фахівців, що працюють у різних галузях фізики, хімії, біології, медицини тощо [2]. Знання діелектричних властивостей необхідне, це важливо для розроблення низки радіотехнічних систем, розвитку методів аналізу та контролю хімічного складу, а також вирішення інших сьогоднішніх практичних проблем промисловості.

Тому виникає необхідність розробки пристрою для визначення діелектричних параметрів матеріалів на низьких і високих частотах, який дасть можливість більш точно вимірювати властивості діелектричних параметрів матеріалів, що може істотно розширити перелік об'єктів дослідження, діапазонів частот та інтервалів температур.

Для вирішення поставленої задачі пропонується використовувати прилад, робота якого починається з сигналу старт мікроконтролера. Мікроконтролер запускає генератор з частотою імпульсів 100 Гц – 5 МГц [3]. Дані коливання поступають на аналоговий компаратор на основі операційного підсилювача, де на один вхід коливання поступають без змін, а на другий вхід із затримкою, час якої залежить від часу заряду конденсаторів  $\Delta C$  та  $Sx$ . Після цього, вихідне значення операційного підсилювача надходить на піковий детектор, який зафіксує пікові значення з компаратора, та робота якого регулюється мікроконтролером. Дане значення надходить на перетворення у код, за допомогою аналогово-цифрового пристрою. Утворений код несе в собі значення діелектричної проникності яка розраховується мікроконтролером [4]. Отримане значення передається на інтерфейс.

В результаті аналізу поставленої задачі до основних діелектричних параметрів були віднесені діелектрична проникність та тангенс кута втрат. Аналізуючи принципи і методи вимірювання виявилось, що значення параметрів залежать від частоти [5], і на низьких частотах діелектрична проникність речовини близька до діелектричної сталої. Проте необхідно враховувати той факт, що реальні діелектрики хоча б частково проводять електричний струм, а тому при дуже високих частотах діелектрична проникність поводить ся однаково для провідників та діелектриків. Спираючись на це приведена класифікація діапазонів частот та показана залежність діелектричної проникності від частоти струму живлення.

### Список літературних джерел

1. Електротехнічні матеріали : навчальний посібник / В. О. Леонт'єв, С. В. Бевз, В. А. Видмиш. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 122 с..
2. Тареев Б. М. Фізика діелектричних матеріалів / Б. М. Тареев. – М. : Энергоздат, 1982. – 320 с.
3. Пристрій для визначення діелектричних параметрів матеріалів на низьких і високих частотах // Киселев В. И., Султанаев Р.М – Тюмень, 1990. – 175 с.
4. Никулин Е. А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем: Учебн. пособие. – СПб : БХВ – Петербург, 2004. 1640 с.
5. Дьяков С. Д. Електротехнічні матеріали // Діелектрики. – Харків: ХНАМГ, 2006 – 67 с.

**К. В. Овчинников, к.т.н.; В. О. Палій, магістрант**  
**ПРИЛАД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ МУТНОСТІ**

Ключові слова: мутність, оптичний метод, ультразвуковий метод, кондуктометричний метод, фотоприймач, випромінювач, вимірювання, точність

Важливим показником якості води, використовуваної практично для будь-якої мети, є наявність механічних домішок - завислих речовин, твердих частинок мулу, глини, водоростей і інших мікроорганізмів, і інших дрібних частинок. Допустима кількість зважених речовин коливається в широких межах, як і можливий їх зміст.

Каламутна, непрозора вода викликає у людини відчуття відрази. Це обмежує її вживання і змушує шукати нові джерела водопостачання, вода в яких може виявитися небезпечною в епідеміологічному відношенні і містити шкідливі речовини.[1] Мутність води свідчить про її забрудненні органічними і неорганічними речовинами, які можуть бути шкідливими для здоров'я людини або утворювати шкідливі речовини під час реагентної обробки води (наприклад, хлорування). Мутність є показником ефективності освітлення води на очисних спорудах.

Хоча до теперішнього часу розроблено безліч методів для визначення забруднень у воді, визначення мутності.[2] Раптова зміна мутності може вказувати на додаткове джерело забруднення (біологічне, органічне або неорганічне) або сигналізувати про проблеми в процесі обробки води.

З часом потреба в більш точному визначенні низьких значень мутності в зразках, що містять суспензії дуже дрібних частинок, зажадала поліпшення характеристик мутноміра.[3] Тому тема вимірювання мутності є актуальною в наш час.

Для вирішення поставленої задачі пропонується вибрати оптичний метод вимірювання мутності. Робота пристрою починається з проходження через об'єкт вимірювання ОВ випромінювання, яке надходить з інфрачервоного випромінювача ІВ. Інфрачервоне випромінювання відбивається від рідини яка там протікає та відбите випромінювання попадає на фотоприймачі ІФП. В наслідок цього, на виході фотоприймача утворюється струм, який на операційному підсилювачі, завдяки наявності зворотного зв'язку утворює напругу.[4] Утворена напруга з фотоприймачів є майже однаковою, але через різницю фаз між ними має не суттєві відмінності. Ця напруга поступає на підсилювач Далі напруга поступає на мікроконтролер МСУ який, віднімає різницю фаз між напругами, та знаходить її пікове значення. Дане значення і є шуканим для кожного вимірювального каналу. Ці значення з двох каналів поступають на мікроконтролер який працює на прийом і передачу даних з інтерфейсом ІNT.

В результаті аналізу поставленої задачі для вимірювання мутності було обрано оптичний метод вимірювання[5]. Оскільки, він має такі переваги: висока чутливість, високі метрологічні параметри простота, дуже низька собівартість, легкість інтеграції в ІВС, , мала маса і розміри. Лінійність характеристики у всьому діапазоні. Широкий спектральний діапазон вимірюваних середовищ Великий діапазон вимірюваних середовищДосить промивок, передбачених технологічними вимогами виробництв.

Список літературних джерел

6. Данильчук Н.М., Дмитриев Ю.А. и др. "Устройство для определения концентрации взвесей в окрашенных средах". а.с.№690170, СССР Бюллетень №46 от 15.12.81 г
7. .Маликов В.Т., Дмитриев Ю.А. и др. Разработка унифицированного проточного прибора для определения концентрации взвесей.- Промежуточный отчет по НИР, № гос.регистрации 7803301, инв .№02023035985, Винница.- ВПИ.- 1981.-57с.
8. . Кучерук В. Ю. Фотоелектричне вимірювальне перетворення площа-напруга / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь, Ю. Є. Блохін // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. - 2014. - № 1. - С. 139-145. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/oeiet\\_2014\\_1\\_20](http://nbuv.gov.ua/UJRN/oeiet_2014_1_20).
9. . Источники и приемники излучения: Учебное пособие для студентов оптических специальностей вузов / Г.Г.Ишанин, Э.Д.Панков, А.Л.Андреев, Г.В.Польщиков.– СПб.: Политехника, 1991. – 240 с
10. ГОСТ 3351-74 «Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности»

**К. В. Овчинников, к.т.н; Ю. О. Письменюк, студентка**

## **ОЦІНКА ЯКОСТІ ФОРМУВАННЯ КОЛІСНОЇ БАЗИ ВАГОНІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Ключові слова: якість, точність, тиск, переміщення, пресування, колісна база, діаграма.

Сьогодні оцінка якості колісної бази вагонів залізничного транспорту залишається актуальною задачею, яка вимагає дотримання жорстких вимог не тільки при виготовленні комплектуючих, а й в процесі формування готових агрегатів ходової частини вагонів залізничного транспорту. В період експлуатації, на стадії ремонту, чи виробництва вагонів залізничного транспорту найбільш жорсткі вимоги до надійності висуваються до вузлів ходової частини [1], зокрема до колісних баз. Вони є однією з відповідальних частин вагона, адже направляють рух по рейковому шляху і сприймають основну частину навантаження, що передається від вагона на рейки. Безпека руху поїздів залежить від якості огляду колісних баз, а від їх стану в першу чергу життя та здоров'я пасажирів, тому в процесі експлуатації за їх станом встановлено ретельне спостереження, а при виготовленні проводиться жорсткий контроль якості.

В процесі формування колісної бази відбувається пресування коліс на суцільну металеву вісь. Протягом пресування колісної пари фіксуються тиск, з яким відбувається пресування, та переміщення колеса відносно вісі, а в результаті пресування отримують діаграму пресування, після детального вивчення якої визначають: придатна чи не придатна колісна база до експлуатації на вагонах залізничного транспорту [2,3,4]. В ідеальному випадку на діаграмі пресування повинна відображатись крива, що монотонно зростає і не має яскраво виражених зламів та перепадів. Також не допускається на діаграмі прямі ділянки протягом визначеного проміжку, що свідчать про відсутність додатної зміни тиску в процесі пресування. Типова діаграма пресування зображена на рисунку 1.

За результатом пресування робиться висновок про придатність (непридатність) колісної бази для використання. Протоколи пресування упорядковано за номером вісі і містять у собі інформацію про праве та ліве колеса, зокрема:

- діаграму процесу пресування;
- величини максимального тиску і переміщення;
- номера колеса і осі;
- натяг, діаметри ступічної і підступічної частин;
- дата, ПІБ оператора та майстра.

Аналіз процесів формування колісної бази на сучасному виробництві спонукає до вирішення задачі оцінки якості колісної, яка б ґрунтувалась на останніх дослідженнях в області метрології та інженерії якості продукції.

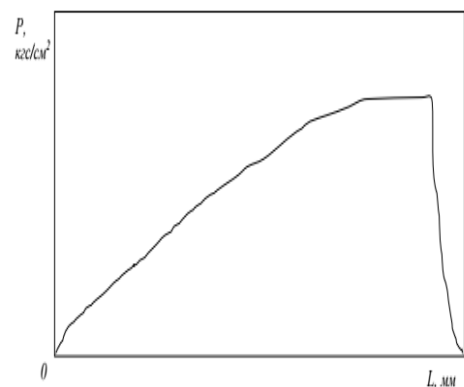


Рис.1 – Типова діаграма пресування колеса на вісь

### Список літературних джерел

1. ДСТУ ГОСТ 4835:2008. Колісні пари вагонів магістральних залізниць колії 1520 мм. Технічні умови. чинний з 01.10.2008.
2. Шабатура Ю.В. Звіт про науково-дослідну роботу розробка методів вимірювань та ІВС для визначення переміщень товщин і тисків в технологічних процесах вагонометричного виробництва. / Ю. В. Шабатура., К.В. Овчинников, І. М. Штельмах, 2009, 31с.
3. 5. Прилад для запису діаграм «тиск-шлях» - [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://5406483.ru/>
4. М.П. Михалевич. Виготовлення, експлуатація і ремонт колісних пар вагонів. Хабаровск. Видавництво ДВГУПС 2009. 51с.



**П. І.Кулаков, проф. д.т.н.; А. О. Разовий, студент**

## **ПЕРЕНОСНИЙ ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ НА ОСНОВІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА.**

Ключові слова: фотоелектричний вимірювальний перетворювач, кутова швидкість, діапазон вимірювання куткової швидкості, кутове прискорення, кут повороту.

В науці і промисловості гостро стоїть задача вимірювання параметрів обертального руху. На відміну від лінійного руху це задача набагато складніша[1]. При обертальному русі потрібно визначати такі параметри як кутова швидкість, кутове прискорення, кут повороту та інші.

Тому виникає необхідність розробки пристрою для вимірювання куткової швидкості на основі фотоелектричного вимірювального перетворювача[2], який дозволяє вимірювати кутову швидкість. Для вирішення поставленої задачі пропонується використовувати прилад робота якого починається з того що на рухому частину наносять мітку[3], яка добре відбиває інфрачервоне випромінювання. Це може бути мітка, яка нанесена білою фарбою на поверхню або шматок білого паперу, який наклеєний на рухому частину[4]. Під час обертання валу мітка опромінюється інфрачервоним випромінювачем. Інфрачервоне випромінювання відбивається від світло відбиваючої мітки і поглинається поверхнею вала. Відбите від мітки інфрачервоне випромінювання попадає на фотоприймач[5]. Внаслідок цього, на виході фотоприймача формується послідовність імпульсів, частота яких дорівнює частоті обертання вала, тобто часовий проміжок між двома сусідніми імпульсами дорівнює часу, за який здійснюється один оберт вала. Мікроконтролер, при наявності на виході фотоприймача імпульсів належного рівня, розраховує частоту обертання і виводить її значення на чотириох розрядний індикатор. В результаті аналізу поставленої задачі до основних параметрів вимірювання куткової швидкості були віднесені кутове прискорення і кут повороту.

### Список літературних джерел

1. Шрюфер Е. Обробка сигналів: цифрова обробка дискретизованих сигналів / За ред В.П.Бабака. – К.: Либідь, 1992. – 296 с.
2. Андрощук В.В. Анализ погрешностей цифровых тахометров // Измерительная техника. – 1979. – №7. – С. 32 – 34.
3. Юкиш, М. Й. Оптико-електронні засоби контролю параметрів обертального руху на основі методу просторової модуляції: монографія / М. Й. Юкиш, В. В. Кухарчук, Й.Й. Білинський. – Вінниця : ВНТУ, 2009. – 138 с.
4. Поджаренко В.О. Метрологічне забезпечення тахометричних вимірювальних перетворювачів: монографія / Поджаренко В. О., Севастьянов В. М., Осадчий В. П. – Вінниця : ВНТУ, 2009. — 148 с.
5. Кухарчук В.В. Метрологія та вимірювальна техніка. Навчальний посібник / Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Долгополов В.П., Грумінська Л.В. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2004. –252с.

**Д. О. Півторак, к.т.н.; О. М. Павловський, к.т.н., доц.; В. О. Аксініченко**  
**ПОРТАТИВНИЙ ЦИФРОВИЙ ПРИЛАД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ**  
**ОСВІТЛЕНОСТІ**

Ключові слова: освітленість робочого місця, люксметр, зір, яскравість монітора

Одним з важливіших параметрів, що впливають на організм людини є освітлення приміщень різного призначення, робочі місця, учбові заклади. Недостатнє освітлення призведе до швидкої втоми очей та до зменшення працездатності, так як зір є найважливішим органом почуттів, завдяки якому людина отримує більше 80% всієї інформації. Тому питанням комфортної роботи зорового апарату присвячено великий об'єм медичних досліджень, результатом яких є розробка санітарно-гігієнічних норм з вимогами до рівня освітленості на робочих місцях. При цьому в основному нормуються рівні мінімальної освітленості.

Виключення складають вимоги до робочих місць, які обладнанні моніторами комп'ютерів. Дані вимоги нормують мінімальні та максимальні рівні освітленостей, це пов'язано з тим, що при роботі з монітором комп'ютера працівник постійно переводить погляд з документа на екран монітора та навпаки. Якщо при цьому різко змінюється яскравість об'єкта, який розглядається, тоді виникає підвищена втомленість очей. Тому рівні яскравості екрана монітора та документа повинні максимально відповідати один одному.

Контроль освітленості робочих місць на підприємствах, учбових закладах, жилих приміщеннях здійснюється за допомогою приладів для вимірювання освітленості – люксметрів.

В роботі запропоновано портативний цифровий прилад, який призначений для вимірювання рівня освітленості на робочих місцях або в жилих приміщеннях. Запропонований прилад реалізується за наступною схемою (рис. 1): інформаційні сигнали від модуля чутливих елементів (ЧЕ), у якості яких можуть виступати набір фоторезисторів або матриця фотодіодів, передаються на обчислювальне ядро для подальшої обробки. Отримані дані формуються у масиви і після процедури усереднення порівнюються із граничними значеннями, в результаті чого будуть сформовані висновки про рівень освітленості. Для відображення отриманої інформації планується використовувати екран Nokia5510, або передавати на ПК через інтерфейс USB з використанням USB-TTL конвертора. Через USB-TTL конвертор можливе перепрограмування обчислювального ядра для швидкої зміни алгоритму обробки або більш тонкого налагодження пристрою. У якості обчислювального ядра запропоновано використовувати мікроконтролери сегменту LowCost, такі як ATMEGA328 або MSP430. Для живлення пристрою використовується адаптер живлення з вихідною напругою 5В (1А мах), або блок акумуляторів. При передачі інформації на ПК, живлення може відбуватись від портаUSB.

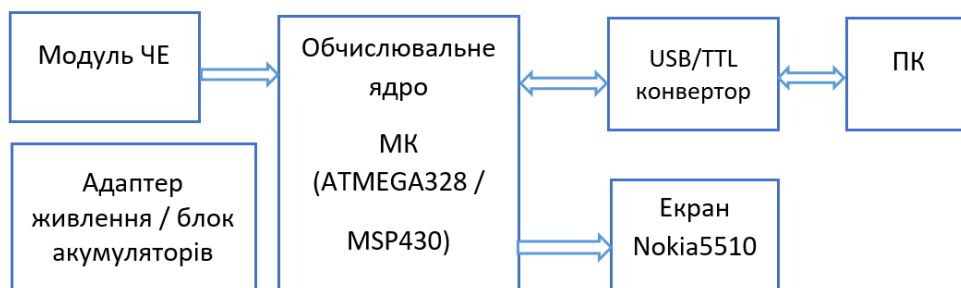


Рис. 1. Принципова схема приладу для вимірювання освітленості

**Список літературних джерел:**

1. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне та штучне освітлення» від 01.09.2012 р. (наказ №77 від 22.12.2011 р.).
2. ДСанПІН «Державні санітарні правила та норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», затвердженні постановою Головного державного санітарного лікаря України від 10.12.1998 р. №7.

Р.О. Матвійв, аспірант, В.О. Яцук, д.т.н.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕНОСНИХ КАЛІБРАТОРІВ НАПРУГИ З САМОНАЛАШТУВАННЯМ

**Ключові слова:** калібратор напруги, зразкова напруга, адитивна складова похибки, автоматична корекція, комутаційне інвертування, аналогова пам'ять.

Калібратори напруги постійного струму (КНПС) відносяться до багатозначних мір напруги і складаються з джерела зразкової напруги, кодо-керованого подільника і операційних підсилювачів [1]. Адитивні складові похибки в калібраторах напруги постійного струму виникають від зміщення нульового рівня операційних підсилювачів і від спаду напруги в лініях зв'язку між окремими елементами. Автоматичну корекцію адитивних похибок калібраторів напруги постійного струму здійснюють методом комутаційного інвертування [2, 3]. У відомих схемах, що використовують даний метод, є недолік, пов'язаний із створенням імпульсних завад у вихідному сигналі через відсутність зв'язку вихідного сигналу зі спільною шиною елементів схеми [4].

Розроблено схему калібратора напруги постійного струму, в якій для коригування адитивної складової похибки застосовується метод комутаційного інвертування, використане «плаваюче» відносно спільної шини джерело зразкової напруги, що дає можливість підвищення точності формування напруги на виході калібратора завдяки відсутності вхідного подільника напруги. Використано також елементи аналогової пам'яті, які з'єднані з спільною шиною всіх елементів, що дає можливість додаткового зменшення пульсацій вихідної напруги калібратора. Структурна схема калібратора напруги постійного струму подана на рис. 1.

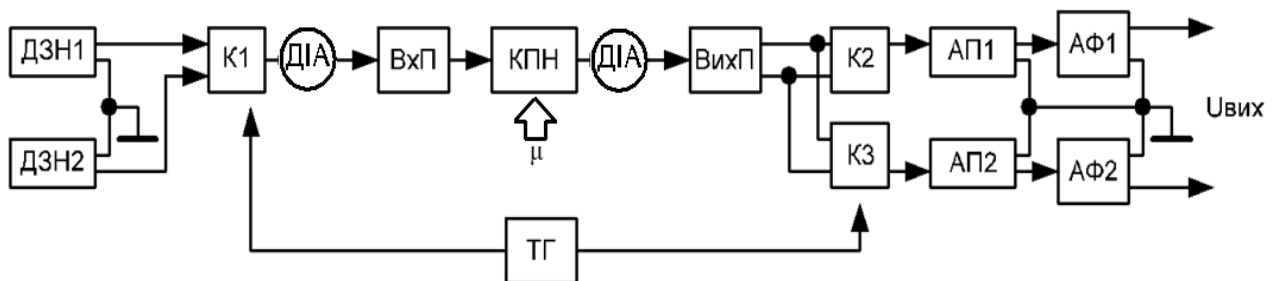


Рис. 1. Структурна схема калібратора напруги постійного струму

Принцип роботи даної схеми полягає в комутації вхідних зразкових напруг ДЗН1 і ДЗН2, які підсилюються на вхідному підсилювачі ВхП і поступають на кодокерований подільник напруги КПН. Вихідна напруга КПН поступає на вихідний підсилювач ВихП, з якого напруга в залежності від сигналу тактового генератора ТГ поступає на аналогову пам'ять АП1 (додатня напруга) або на аналогову пам'ять АП2 (від'ємна напруга). Використання активних фільтрів АФ1 і АФ2 зменшує вплив імпульсних завад, які виникають під час переключення комутаційних елементів К1, К2 і К3.

Для проведення досліджень використовується джерело-імітатори адитивної складової похибки ДІА, які розміщувались на входах операційних підсилювачів. Напруга ДІА становила 10 мВ і вимірювання проводилось з підключенням ДІА і без підключення ДІА. Для вибору оптимального режиму роботи калібратора напруги експериментальним шляхом підбиралась частота тактового генератора. При цьому частота тактового генератора змінювалась від 100 Гц до 5000 Гц.

Різниця показів вихідної напруги калібратора напруги постійного струму з коригуванням адитивної складової похибки із підключеним та відключеним ДІА (нескориговане значення адитивної складової похибки)  $\Delta U_k$  визначається співвідношенням (1), а результати досліджень наведені в табл. 1 – 3.

$$\Delta U_k = U_{\text{безДІА}} - U_{\text{зДІА}}, \quad (1)$$

де  $U_{\text{безДІА}}$  – вимірне значення вихідної напруги макету калібратора напруги без включеного ДІА;

$U_{\text{зДІА}}$  – вимірне значення вихідної напруги макету калібратора напруги із включеним ДІА.

Табл. 1

*Дослідження калібратора напруги при частоті тактового генератора 100 Гц*

U <sub>вих</sub> , %	100 Гц		
	U <sub>безДІА</sub> , В	U <sub>зДІА</sub> , В	ΔU <sub>к</sub> , мкВ
0	0,000023	0,000031	-8
25	0,501893	0,501847	46
50	1,00191	1,00189	20
75	1,50246	1,50244	20
100	2,00258	2,00260	-20

Табл. 2

*Дослідження калібратора напруги на частоті тактового генератора 1200 Гц*

U <sub>вих</sub> , %	1200 Гц		
	U <sub>безДІА</sub> , В	U <sub>зДІА</sub> , В	ΔU <sub>к</sub> , мкВ
0	0,000007	0,000011	-4
25	0,496106	0,496110	-4
50	0,991499	0,991494	5
75	1,48928	1,48928	0
100	1,98777	1,98777	0

Табл. 3

*Дослідження калібратора напруги на частоті тактового генератора 5000 Гц*

U <sub>вих</sub> , %	5000 Гц		
	U <sub>безДІА</sub> , В	U <sub>зДІА</sub> , В	ΔU <sub>к</sub> , мкВ
0	0,000026	0,000020	6
25	0,479589	0,479615	-26
50	0,957426	0,957281	145
75	1,44208	1,44222	-140
100	1,93145	1,93115	300

З аналізу результатів експериментальних досліджень на різних частотах тактового генератора, можемо зробити висновок про те, що на частоті 1200 Гц спостерігалось найменше нескориговане значення адитивної складової похибки і воно перевищує 5 мкВ. Проведені експериментальні дослідження підтверджують ефективність застосування методу комутаційного інвертування для коригування адитивної складової похибки переносних калібраторів напруги постійного струму.

1. Бойко О., Столярчук П., Яцук В., Матвій В. Покращення метрологічних характеристик серійних переносних калібраторів опору, напруги, струму // Вимірювальна техніка та метрологія, № 56 .- 2000. – С. 78 - 81.

2. Mykola MYKYUCHUK, Yuriy YATSUK, Orest IVAKHIV, Roman MATVIIV. Voltage and Resistance Calibrators for Verification of Industrial Instrument Applications. – Proceedings of Metrology Commission of Katowice branch of Polish Academy of Sciences. Series: Conferences No. 21. - XII Conference “Problems and Progress in Metrology’2016”, Szczyrk, 05 - 08 czerwca 2016 r. – P. 114-117.

3. Яцук В., Янович Р., Здеб В. Можливості оперативного калібрування промислових вимірювачів напруги // Вимірювальна техніка та метрологія, № 74 .- 2013. – С. 121 - 127.

4. Яцук Ю., Янович Р. Коригування адитивної складової похибки кодо-керованих калібраторів напруги // Тези допов. II-ї міжнар. наук.-практ. конф. «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи», 28-30 травня 2015 – Львів: НУ «Львівська політехніка». – Сс. 228-229.

**І.С. Петришин, д.т.н., проф., О.А. Бас, к.т.н., Л.О. Присяжнюк, аспірант**

## **ПРОБОВІДБІРНИК – ДОЗАТОР ПРИРОДНОГО ГАЗУ ДЛЯ КАЛОРИМЕТРІВ ПРЯМОЇ ДІЇ**

Ключові слова: пробовідбірник, калориметр, теплота згоряння, пневматичний циліндр, природний газ

Введення в дію постанови № 84 Національної комісії з регулювання енергетики і комунальних послуг України (НКРЕКП) «Про затвердження Змін до деяких постанов НКРЕКП про введення на ринку природного газу використання одиниць енергії» зобов'язує газозбутові організації у платіжних документах вказувати значення теплоти згоряння газу та кількість спожитої енергії, що зумовило актуальність питання визначення теплоти згоряння природного газу безпосередньо в споживача комунально-побутового сектору.

Теплота згоряння природного газу визначається згідно з [1] із застосуванням методів: прямого вимірювання (калориметри прямої дії), непрямого вимірювання (хроматографи) та опосередкованого вимірювання (на основі кореляційних залежностей). З існуючих методів найбільш оптимальним для побутових споживачів залишається метод прямого вимірювання із застосуванням газового калориметра, в якому відбувається безпосереднє спалювання порції газу, тобто умови застосування калориметра максимально відповідають умовам використання газу споживачем. В Україні чинний ДСТУ ISO15971:2014 [2], який розповсюджується на різні види газових калориметрів. Зокрема, стандарт розділяє окремо калориметри прямої та непрямої дії.

Основними складовими елементами калориметра прямої дії є: калориметрична колонка згоряння із газовим пальником, термоізолюваний теплообмінник із теплоносієм та пристрій для задання значення об'ємної витрати природного газу, який поступає в газовий пальник та визначення об'єму цього газу. Для реалізації останньої складової, пов'язаної із дозуванням природного газу, авторами розроблено пробовідбірник – дозатор, який є комплексним вирішенням поставленого завдання і може застосовуватись в режимі поршневого пробовідбірника, принцип якого аналогічний описаному в [3] та в режимі задавача – дозатора об'єму природного газу з відомим значенням об'ємної витрати газу.

Особливістю розробленого пробовідбірника – дозатора природного газу є необхідність застосування приводу, рівномірний рух якого забезпечить стабільне переміщення поршневого розділювача в порожнині циліндра та, відповідно, гарантуватиме незмінне значення об'ємної витрати газу за час проведення дослідження, критерієм якого буде стабільне горіння природного газу в пальнику калориметра. З існуючих видів приводів можна виділити три основні типи: електричний, гідравлічний та пневматичний. Застосування електричного приводу накладає певні обмеження, які пов'язані з можливістю застосування пробовідбірника – дозатора безпосередньо у приміщенні в споживача, яке при негерметичності з'єднань може заповнитись газоповітряною сумішшю та досягти небезпечної концентрації. Стосовно гідравлічного приводу аналогічно необхідно відзначити особливість застосування гідравлічних pomp, які зазвичай живляться від електромережі. Оптимальним рішенням для періодичного живлення вузла приводу розробленого пробовідбірника – дозатора є пневматичний привід, тобто стиснене в ємності повітря. Така система повністю гарантує безпеку при застосуванні її для робіт, які пов'язані з природним газом.

Особливістю пневматичного приводу, при умові застосування ємності зі стиснутим повітрям, є можливість практично миттєвого виходу накопиченої енергії, тобто миттєвого розряду, якщо розглядати ємність як акумулятор тиску. При цьому дана функція може служити додатковою перевагою, оскільки швидкість розрядження, тобто виходу стисненого повітря, забезпечує лінійне переміщення поршня з різною швидкістю руху, яка є показником для визначення об'ємної витрати газу. Відповідно, співвідношення максимального значення об'ємної витрати газу до її мінімального значення є динамічним діапазоном пробовідбірника – дозатора, який в свою чергу забезпечує плавне регулювання процесу горіння природного газу в калориметрі прямої дії.

Для компонування розробленого пробовідбірника – дозатора доцільно максимально застосувати уніфіковані елементи провідних фірм – виробників пневматичного обладнання. Основними складовими пробовідбірника – дозатора є: пневматичний циліндр, порожнина якого, з попередньо визначеним об'ємом, буде застосовуватись як ємність для газу, пневматичний циліндр в якості приводу, розподільник для перенаправлення потоків стисненого повітря та наповнена

повітрям ємність яка слугує, як уже зазначалось, акумулятором тиску. Зокрема, готовим елементом пробовідбірника – дозатора є опозитний пневматичний циліндр зі спільним для двох поршнів, які розташовані під кутом 180°, штоком, таке рішення додатково підвищить стійкість конструкції та зменшить її габарит. Така комплектація об'єднує в собі власне пробовідбірник (циліндр 1) та пневмопривід (циліндр 2). Приклад опозитного циліндра та пневматична схема пробовідбірника – дозатора з системою пневморозподільників потоку показані на рис. 1. При цьому вихід штокової порожнини циліндра 1, в якому знаходиться відібраний газ, повинен бути з'єднаний з атмосферним тиском, оскільки при наявності в цій порожнині надлишкового тиску повітря можливі перетоки між поршнем і циліндром, що спричинить спотворення дослідження, оскільки навіть незначна кількість повітря, яке може потрапити в відібраний природний газ суттєво змінить його теплотворну здатність.

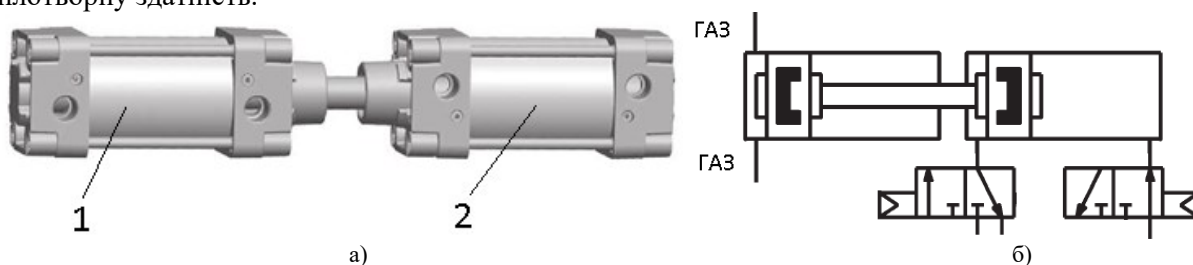


Рис. 1 – Типовий опозитний пневмоциліндр (а) та пневматична схема пробовідбірника – дозатора (б)

Для підвищення ефективності використання стисненого повітря можливо застосувати в якості привідного пневматичний циліндр із зворотною пружиною, яка вмонтована в його штокову порожнину. На рис. 2 показаний приклад виконання такого циліндра (а) та застосування його в пневматичній схемі пробовідбірника – дозатора (б).

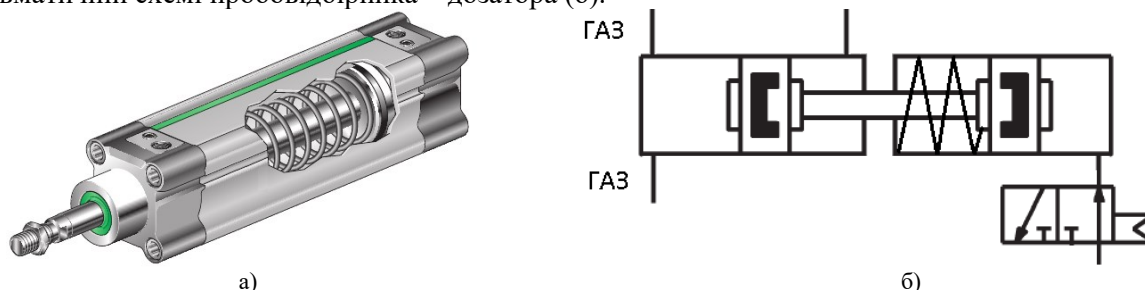


Рис. 2 – Типовий пневмоциліндр із зворотною пружиною (а) та його застосування в пневматичній схемі (б)

Разом з тим, при проведенні відбору проби природного газу іноді виникає потреба додатково збільшення об'єму проби шляхом кількакратного стискання, відповідно, для збільшення зусилля доцільно використати в якості приводу пневмоциліндр типу тандем (рис. 3 а), в якому на етапі стискання потік повітря подається в дві порожнини: поршневу першого циліндра та штокову другого (рис. 3 б), чим збільшується загальне зусилля на привідний шток.

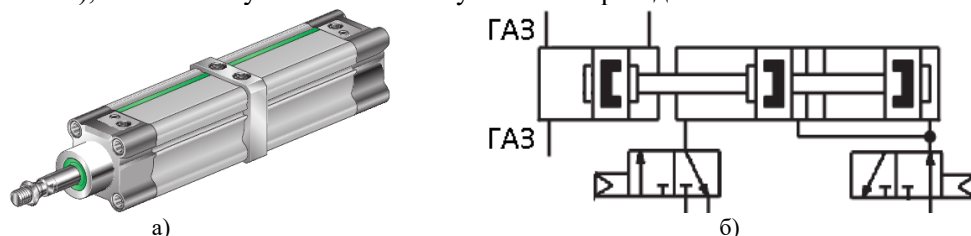


Рис. 3 – Типовий пневмоциліндр тандем (а) та його застосування в пробовідбірнику – дозаторі

#### Список літературних джерел:

1. Природний газ. Визначення енергії (ISO 15112:2007, IDT): ДСТУ ISO 15112:2009. – [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010.
2. Природний газ. Вимірювання властивостей. Теплота згоряння та число Воббе (ISO 15971:2008, IDT): ДСТУ ISO 15971:2014. – [Чинний від 2015-05-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2014.
3. Петришин І.С. Дослідження енергетичної цінності природного газу в споживачів комунально-побутового сектору / І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк, О.А. Бас // Метрологія та прилади. – 2015. – № 6 (56). – С. 42 – 49.

Д. В. Прихожа, студентка, О. В. Катрук, асистент

## КОНТРОЛЬ ВІБРАЦІЇ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ МЕТОДОМ ГОЛОГРАФІЧНОЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ

**Ключові слова:** вібрація, метод голографічної інтерферометрії, зубчасті передачі, діагностика технічного стану приладу.

Вібрація зубчастих передач несе корисну інформацію про динамічні навантаження різних елементів двигуна, і характеризує технічний стан зубчастої передачі. Існує безліч причин вібрацій зубчастих передач. Наприклад вібрація, обумовлена взаємодією зубчастих коліс. Процес контакту зубів відносно один одного супроводжується тертям кочення і ковзання великої інтенсивності. Сили тертя збуджують широкосмуговий вібраційний шум.

У деяких зубчастих зачепленнях (наприклад, в зачепленнях приводів агрегатів) через малу передачу навантажень може виникнути режим зіткнення зубів, який призводить до розмивання дискретних складових, а також до появи комбінаційних частот.

Інтенсивність вібрації зубчастих передач також зростає зі збільшенням передаточного навантаження і зі збільшенням частоти обертання можлива робота зубчастої передачі в режимі розмикання. Виникаючі при цьому інтенсивні удари збуджують власні і резонансні коливання коліс і корпусів, які можуть в кілька разів підвищити загальну інтенсивність вібрації.

Проблема діагностики технічного стану приладу актуальна на всіх етапах життєвого циклу, як на етапах проектування і виготовлення, так і на етапах експлуатації та ремонту.

Одним з найважливіших засобів підтримки надійності і підвищення економічної ефективності використання виробів, які піддаються впливу вібрації під час експлуатації, є застосування систем вібраційного аналізу.

За допомогою методу голографічної інтерферометрії ці дефекти можна буде визначити і своєчасно передбачити несправність приладу. Цей метод дозволяє отримувати інформацію про тимчасовий перебіг процесу. Реєстрація голограм здійснюється на матричний світлочутливий сенсор і отримане таким чином зображення (цифрова голограма) фіксується в пам'яті комп'ютера. Подальша цифрова обробка такої голограми дозволяє окремо відновити амплітудний і фазовий розподіл в об'єктному промені. Для отримання інтерферограми віднімають одне з іншого фазові розподілу, і отримують розподіл різниці фаз в залежності від координат точок об'єкта.

При дослідженні вібрацій голограма об'єкта експонується протягом проміжку часу, що охоплює декілька періодів коливань (усереднення в часі). Інтенсивність смуг при цьому швидко спадає з ростом амплітуди коливань. Найбільш яскрава смуга відповідає вузловим лініям. За таким інтерферограмами можна вивчати розподіл амплітуди коливань по поверхні об'єкта (рис. 1). Для розширення діапазону вимірюваних амплітуд використовується стробогоголографічний метод, в якому голограма експонується не безупинно, а лише в певні моменти часу, синхронізовані з обраною фазою коливань. При цьому яскравість смуг практично не залежить від амплітуди [1].

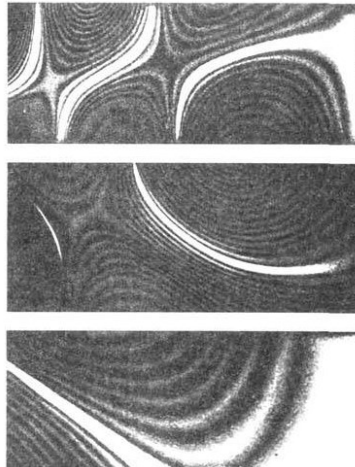


рис 1. Голографічні інтерферограми вібруючих на рівних частотах зубчастих зчеплень.

До переваг методу голографічної інтерферометрії над методом класичної інтерферометрії можна віднести:

- можна досліджувати прозорі або дзеркальні об'єкти складної форми;
- не пред'являє строгих вимог до якості оптики;
- дозволяє досліджувати інтерференцію хвиль, розсіяних об'єктом в різних напрямках в межах, які охоплює голограма.

До недоліків голографічного методу можна віднести тривалий час обробки інформації (запис голограми, хімічна обробка, дослідження структури смуг, сформованих на голограмі).

Аналіз показав, що застосування голографічної інтерферометрії розширило можливості систем для вимірювання вібрації зубчастих передач: збільшилася стабільність роботи, з'явилася можливість діагностики ламінарних потоків з використанням адаптивної оптичної системи [2].

Література:

1. Голографическая интерферометрия // Энциклопедия физики и техники [Электронный ресурс]: [http://femto.com.ua/articles/part\\_1/0827.html](http://femto.com.ua/articles/part_1/0827.html)
2. M. Karray. Digital holographic nondestructive testing of laminate composite / M. Karray, P. Christophe, M. Gargouri, P. Picart, // Opt. Eng. – 2016 - №55. doi: 10.1117/1.OE.55.9.095105.



**С. Я. Петрів, асистент**

## **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ МУТНОСТІ ВОДИ**

Ключові слова: мутність, оперативний контроль, детектор, нефелометр.

Вимірювання мутності води є важливим етапом перевірки якості, оскільки це один з методів визначення того, чи можна безпечно вживати її, оскільки відомо, що різного роду мікроорганізми і бактерії, шкідливі для здоров'я людини, можуть знаходитись у каламутній воді [1].

На сьогоднішній день існує безліч методів вимірювання каламутності, деякі з них розроблені спеціально для регулярних досліджень, інші зустрічаються при потребі моніторингу якості води пов'язаних із використанням технологічного контролю в лабораторних умовах. Ці технології використовують додаткові типи джерел світла, детектори (сенсори) та оптичну геометрію, щоб забезпечити різні методи вимірювання. Наприклад, детектори дія яких базується на поглинанні світла, що безпосередньо відбивається на пробах води, використовується для проб з дуже високим ступенем каламутності [2]. Однак важливим завданням є вирішення проблеми оперативного контролю каламутності води, що дозволить вчасно очистити питну воду і зменшити навантаження на очисні споруди.

Згідно з чинним стандартом для визначення каламутності води при оперативному контролі використовують два напівкількісні методи.

Напівкількісні методи, які застосовують, зазвичай, у польових умовах, є наступними:

- вимірювання каламутності води, що здійснюється за допомогою прозорої мірильної трубки або циліндра (метод застосовують для чистої та незначно забрудненої води).

- вимірювання каламутності води за допомогою випробувального диска (метод призначений, передусім, для дослідження каламутності поверхневих вод у польових умовах) [3].

Дані напівкількісні методи не дозволяють виконувати безперервний моніторинг, який дозволяє попередити попадання забрудненої води на очисні споруди при відхиленні показників мутності вище норми.

Також для оперативного контролю мутності води широко застосовуються переносні і стаціонарні лабораторії (станції), до її складу входять засоби автоматичного контролю речовин в стічних водах, кондуктометр, УФ-фотометр, ІЧ-фотометр, спектроколориметр, засоби збору і обробки інформації, допоміжна апаратура. Лабораторії такого типу комплектуються автоматичними аналізаторами для контролю забруднюючих компонентів і параметрів води, пробовідбору і пробопідготовки, системної обробки і зберігання інформації на базі комп'ютера і засобами калібровки приборів.

При контролі за станом природних вод проба відбирається на глибині 60-90 см від поверхні води. В якості пристрою для подачі води на пробу використовуються відцентрові насоси, які можуть бути заглибними, підводними чи плаваючими. Для забезпечення стабільності потоку насоси періодично перевіряють і чистять. Після того як проба із водозабірника подається на станцію насосом, вона розділяється на дві лінії: лінію освітленої води і лінію неосвітленої води [4].

Основним недоліком переносних лабораторних станцій, що використовуються при оперативному контролі є їх значна затратність

Основна задача сучасних технологій вимірювання мутності полягає в тому, щоб визначити каламутність від гранично високих до гранично низьких значень в широкому діапазоні зразків з частинками різного розміру і складу.

В роботі детально аналізуються існуючі методи оперативного контролю, що дозволяють визначити каламутність.

Зроблено висновок, що розглянуті методи та системи мають наступні недоліки:

- методи не дозволяють спостерігати за зміною показників каламутності безперервно, тобто проводити моніторинг мутності води;
- значні фінансові затрати на утримання і функціонування переносних станцій.

Список літературних джерел:

1. ДЕРЖАВНІ САНІТАРНІ НОРМИ ТА ПРАВИЛА "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10)

**О.М. Возняк доц. к.т.н, Тихонова С.В. ст.в., В.Д. Маципура, студент**

## **ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЕРІОДИЧНИХ СИГНАЛІВ**

Ключові слова: стенд, лабораторний стенд, вимірювання параметрів, параметри періодичних сигналів.

Для кращого засвоєння матеріалу та для покращення практичних навичок в навчальному процесі, допомагають лабораторні стенди. Лабораторний стенд для вимірювання параметрів періодичних сигналів призначений для набуття в процесі навчання практичних навичок вимірювання параметрів періодичних сигналів. Актуальність роботи полягає в тому що студенти які вивчають сигнали не знають і не розуміють, що таке параметри сигналів, як їх знайти і для чого.

Дана бакалаврська робота ознайомлює студентів з такими термінами як сигнал, їх параметри, а стенд який ми розробляємо допоможе з ознайомленням того як вимірювати ці параметри.

Для розробки лабораторного стенду потрібно вибрати основні вузли стенду. До основних вузлів стенду відносяться:

- Генератор
- Осцилограф
- Вольтметр

В лабораторному стенді генератор потрібен для формування сигналу. Так як ми вимірюємо параметри періодичних сигналів, а до періодичних сигналів відносять синусоїду, прямокутній і пілкоподібний сигнал то нам потрібно вибрати генератор який може формувати три види цих сигналів. Другим основним вузлом нашого стенду буде пристрій який відобразить форму сигналу. Для цього нам потрібен осцилограф. Ще одним вузлом буде вольтметр для вимірювання діючого значення сигналу.

Основним алгоритмом вимірювання параметрів періодичних сигналів є розрахунок який проводиться для трьох сигналів різної форми. За допомогою лабораторного стенду ми вимірюємо два головних параметра періодичного сигналу амплітудне і діюче значення сигналу. Генератор формує сигнал вибраної форми с заданою частотою і амплітудою. Діюче значення сигналу визначається за формулою:

$$X = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}, \quad (1)$$

або діюче значення знаходимо за допомогою мілівольметра. Амплітудне значення сигналів ми задаємо на генераторі, а також можемо знайти за допомогою осцилографа, який підключений до генератора для візуального відображення сигналу.

Знайшовши ці два параметра ми можемо знайти коефіцієнт амплітуди, який дорівнює:

$$k_a = \frac{X_m}{X}. \quad (2)$$

З таблиці ми можемо взяти значення коефіцієнту форми, а також коефіцієнт форми ми знаходимо за формулою:

$$k_\phi = \frac{X}{X_{CB}}, \quad (3)$$

Тепер ми можемо знайти середнє випрямлене значення синусоїдального сигналу від дорівнює:

$$X_{CB} = \frac{X}{k_\phi} \quad (4)$$

Далі ми знаходимо коефіцієнт усереднення. Коефіцієнт для сигналу дорівнює:

$$k_y = \frac{X_m}{X_{CB}}. \quad (5)$$

Останнім параметром який ми знаходимо це середнє значення сигналу. Середнє значення знаходимо за формулою:

$$U_{CP} = U_o = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt \quad (6)$$

Розробка є доцільною для кращого розуміння параметрів періодичних сигналів та їх знаходження на практиці.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ІНДИКАТОРА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НВЧ

Електромагнітне поле, випромінювання, укорочений диполь, датчик, компаратор, мікропроцесорний пристрій.

Електромагнітне випромінювання це комплекс електромагнітних хвиль, що збуджуються різними випромінюючими об'єктами, - зарядженими частками, атомами, молекулами, антенами. Біосфера упродовж усієї еволюції перебувала під впливом електромагнітних випромінювань, в процесі індустріалізації людство додало до цього цілий ряд чинників, посиливши фонове випромінювання. У зв'язку з цим електромагнітні випромінювання, що перевищують природний фон, перетворилися на небезпечний екологічний. Для контролю рівня електромагнітного випромінювання використовуються спеціалізовані електронні пристрої, один з яких розглянуто у даній роботі.

Пристрій відноситься до області радіотехнічних пристроїв для визначення рівня або наявності електромагнітного випромінювання і може бути використане для виявлення випромінювання, що перевищує допустиму норму і представляючу небезпеку для здоров'я людини, наприклад, при застосуванні потужних передавачів, використовуваних для захисту приміщення для захисту об'єкту, від всіляких керованих по радіо приладів, крім того, пристрій може бути використаний для визначення працездатності трубки стільникового телефону по наявності високочастотного випромінювання на її антені, для визначення можливого несанкціонованого включення трубки стільникового телефону шляхом активування її від бази або апаратури, що заміщає апаратуру бази стільникової системи зв'язку.

Пристрій для індикації електромагнітного випромінювання містить сполучені послідовний вхідний широкосмуговий пристрій, пороговий пристрій, реалізований на компараторі, з регульованим рівнем чутливості по вхідному сигналу, вихідний пристрій на основі програмованого мікроконтролера, що забезпечує тимчасову селекцію сигналів в діапазоні генерування сигналів звукової частоти, і пристрій звукової і світлової індикації.

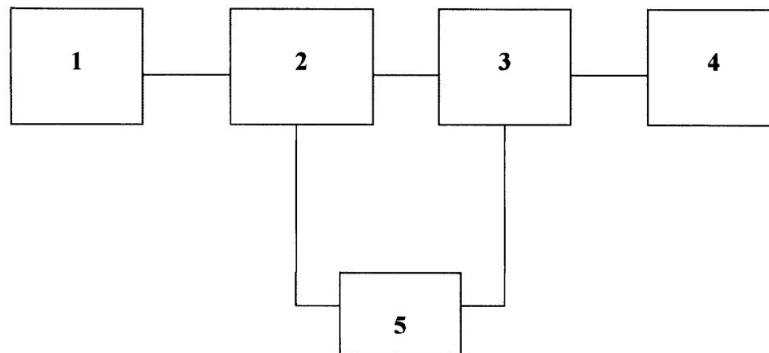


Рис.1.

Блок-схема пристрою для індикації електромагнітного випромінювання.

Пристрій для індикації електромагнітного випромінювання в широкому спектрі частот від УКХ до НВЧ містить вхідний широкосмуговий пристрій 1, вихід якого сполучений з входом порогового пристрою 2, реалізованого на компараторі, з регульованим рівнем чутливості по вхідному сигналу, сполученим своїм виходом з входом вихідного пристрою 3 на основі програмованого мікроконтролера, що генерування електричних сигналів звукової частоти, вихід якого у свою чергу сполучений з входом пристрою індикації 4 у вигляді джерела випромінювання звукового або світлового сигналу, і батарею живлення 5.

Пристрій розміщується в пластмасовому корпусі, габаритні розміри якого дозволяють розмістити його на столі, закріпити на елементах одягу і так далі.

Робота пристрою для індикації електромагнітного випромінювання в широкому спектрі частот полягає в наступному.

За наявності на вході вхідного широкосмугового пристрою сигналу, що перевищує заданий рівень чутливості, робиться прийом і детектування цього сигналу.

У якості датчиків електромагнітного поля використано укорочені диполі для метрового та сантиметрового діапазону хвиль, представлені на фотографіях нижче.

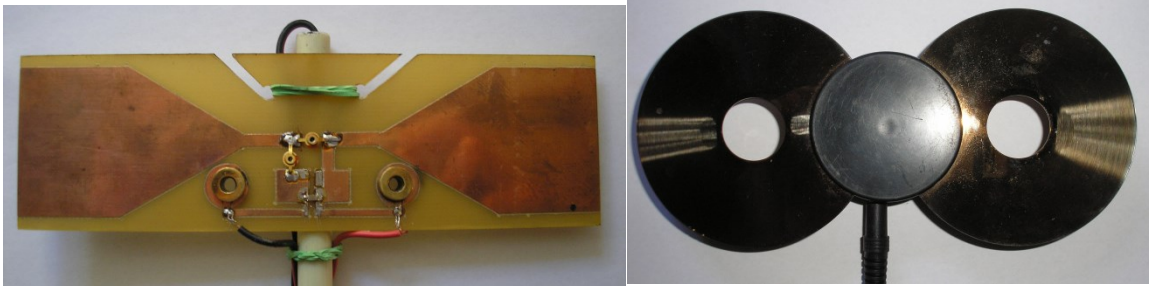


Рис.2а,б

Експериментальні дипольні датчики електромагнітного поля.

Прийнятий сигнал поступає на вхід порогового пристрою, реалізованого на компараторі, який формує на виході логічну одиницю при досягненні вхідним сигналом заданої величини, що лежить в діапазоні від одиниць до сотень мВ.

Далі сигнал поступає на вхід вихідного пристрою на основі програмованого мікроконтролера, що генерує електричні сигнали звукової частоти, пристрої звукової і світлової індикації, що поступають на вхід, яке виробляє відповідно до звуковий або світловий сигнал, або їх комбінацію, застережливих про наявність випромінювання.

Так само пристрій може бути використаний для встановлення наявності шкідливого випромінювання, наприклад, від мікрохвильової печі.

#### Література

1. Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения. - М., Радио и связь, 1985, с.143-148, 154-162, 165-167.
2. Кушнир Ф.В. Электрорадиоизмерения. – Л., Энергоатомиздат, 1983, с. 232-237.
3. Дворяншин Б.В., Кузнецов Л.И. Радиотехнические измерения. – М., Советское радио, 1978, с. 223-232, 235-238.

**О. М. Возняк, к.т.н., С. В. Тихонова; В.О. Кієнко, студент**

### **ЦИФРОВИЙ ВОЛЬТМЕТР НА МІКРОКОНТРОЛЕРІ**

Ключові слова: вольтметр, мікроконтролер, напруга, аналого-цифровий перетворювач.

Ремонт, наладка і регулювання будь-якого радіоелектронного пристрою неможливі без радіовимірювальних приладів, серед яких найбільш численну групу складають цифрові вольтметри. Вони можуть вимірювати як постійні, так і змінні напруги.

І тому для покращення ефективності даного приладу, можна запропонувати цифровий вольтметр на основі мікроконтролера і модуля Bluetooth для бездротової передачі даних.

Мікроконтролер – виконана у вигляді мікросхеми спеціалізована мікропроцесорна система, що включає мікропроцесор, блоки пам'яті для збереження коду програм і даних, порти вводу-виводу і блоки зі спеціальними функціями. Його використання дасть змогу значно покращити метрологічні характеристики приладу. Мікроконтролер на мікросхемі суттєво знижує розміри, енергоспоживання і вартість пристрою [1].

Принцип роботи цифрового вольтметра базується на перетворенні вимірювальної напруги, в електричний код, який відображається на табло у цифровій формі. Згідно з цим узагальнена структурна схема цифрового вольтметра складається з вхідного пристрою, аналого-цифрового перетворювача (АЦП), цифрового індикатора та пристрою управління (рис. 1).

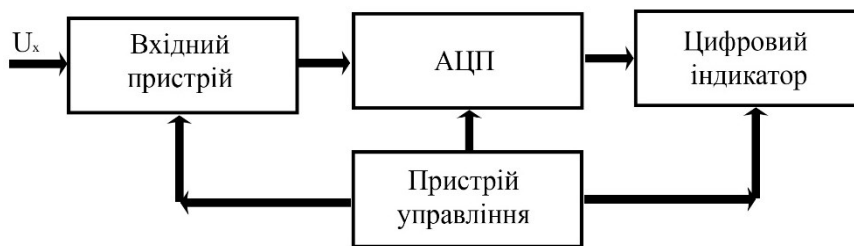


Рис. 1 – Узагальнена структурна схема цифрового вольтметра

Аналого-цифрове перетворення реалізовано програмно. Записана інформація може бути передана в комп'ютер через бездротовий модуль Bluetooth, USB-кабель чи іншими методами, і використана, наприклад, для побудови графіка зміни значень напруги чи іншої обробки результатів.

В процесі роботи перетворювача покращено його метрологічні характеристики за рахунок використання нових алгоритмів.

Таким чином використання мікроконтролера та бездротового модуля передачі даних дасть змогу значно покращити метрологічні характеристики та зручність використання приладу [2].

Список літературних джерел:

1. Кухарчук В. В. Основи метрології та електричних вимірювань. Підручник / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський та ін. - Херсон: "УОлді-плюс", 2013
2. Атамалян Е.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. Москва: Высшая школа, 1982г.

**К. В. Овчинников, к.т.н.; А. М. Дерепашук, студент**  
**ОЦІНКА ЯКОСТІ ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ**

Ключові слова: лакофарбове покриття, товщина, твердість, стійкість, адгезія, якість.

На сьогоднішній день кожен виготовлений виріб потребує захисту від шкідливого впливу навколишнього середовища (від корозії, тріщин, вигорання лаку від сонячної радіації та інших чинників), адже це впливає на зовнішній вигляд виробу, на його працездатність, довговічність тощо [1]. Тому оцінка якості лакофарбового покриття є актуальною темою.

Контроль якості лакофарбових покриттів процедура комплексна. Для формування висновку «якісне» чи «не якісне» покриття необхідно виконати контроль покриття за багатьма параметрами. До основних параметрів лакофарбових покриттів (плівок) відносять: декоративні (колір, зовнішній вигляд, блиск, прозорість); фізико-механічні (адгезія, твердість, еластичність, міцність при розтягу і вигині, ударна міцність, зносостійкість, шорсткість, умовна в'язкість, рівномірність нанесення); захисні (стійкість у атмосфері, світлостійкість, стійкість до перепаду температур, термо-, морозо- і тропіко- стійкість, міцність при ударі); малярно-технічні (здатність шліфуватися і поліруватися); електроізоляційні (електрична міцність, питомий об'ємний електричний опір, тангенс кута діелектричних втрат); хімічні (стійкість до дії кислот, лугів, агресивних газів, води, масла, бензину, мильного розчину, емульсій та ін.) [2]. Однак спеціальні лакофарбові матеріали і покриття мають і специфічні властивості, як наприклад: струмопровідність, стійкість до глибокого холоду, відкритого полум'я, до рентгенівських та інших видів опромінювання, до біологічної дії.

Одним з основних параметрів якості є товщина покриття. При недостатній товщині покриття виріб піддається впливу зовнішніх факторів, а при товщині, що перевищує номінальне значення виробник витрачає зайві кошти на матеріали. Для контролю цього параметру використовують такі методи вимірювального контролю як: хімічний, вихрострумний, ємнісний, інтерферометричний. Методи хімічного контролю товщини покриттів засновані на розчиненні покриття на обраних ділянках поверхні під дією спеціально приготованих розчинів. Для визначення товщин діелектричних плівок застосовують ємнісний метод. Ємність обернено пропорційна товщині плівки, прямо пропорційна площі електрода, який наноситься на діелектричну плівку, і прямопропорційна діелектричній постійній плівки [3].

До основних параметрів лакофарбової плівки відносять також твердість – здатність плівки протистояти втискуванню або проникненню в неї твердого тіла. Для вимірювання твердості плівки використовують такі основні методи: Бріннеля, Кузнєцова-Герберта-Ребіндера, Метод Шора. Твердість плівки за методом Бріннеля визначається за діаметром відбитка, який залишає металева кулька, що втискується у поверхню. Метод Кузнєцова-Герберта-Ребіндера дозволяє визначити твердість за часом загасання коливань маятника опорою якого є досліджуваний лак (фарба), нанесений на певній поверхні. За методом Шора (втискання) твердість визначається за глибиною проникнення в лакофарбове покриття спеціальної загартованої сталевий голки (індикатора під дією каліброваної пружини [4].

В результаті аналізу поставленої задачі до основних параметрів лакофарбових покриттів були віднесені: товщина, твердість, шорсткість, зовнішній вигляд, адгезійна міцність, стійкість лаку чи фарби до різних речовин. Було розглянуто методи та прилади для визначення декількох важливих параметрів, як товщина, твердість.

Список літературних джерел.

1. Рейбман А. І. Захисні лакофарбові покриття. - 5-е вид., Перераб. і доп. - Л.: Хімія, 1982. - 320 с.
2. Азгальдов Г.Г. Теория и практика оценки качества товаров (основы квалиметрии): [учебник для товаровед. фак. торг. вузов] / Г.Г. Азгальдов – М.: Экономика, 1982. - 256 с.
3. Евтихийев Н.Н., Купершмидт Я.А. и др. Измерения электрических и неэлектрических величин: Учебное пособие / Н. Н. Евтихийев. – М.: Энергоиздат, 1990. – 352 с.
4. Яковлев А. Д., Євстигнєєв В. Г., Гісін П. Г. Устаткування для одержання лакофарбових покриттів. - Л.: Хімія, 1982. - 192 с.

П.І.Кулаков, д.т.н., проф.; О.О.Плешко, студент

## ПОРЦІЙНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МОЛОКОВІДДАЧІ

Ключові слова: молоковіддача, параметри молоковіддачі, інтенсивність молочного потоку.

Розглянемо принципи порційного вимірювання параметрів молоковіддачі у молокоприймальній камері доїльного апарата [1-4]. Під дією пульсуючого вакууму, який утворюється за допомогою пульсатора в доїльних стаканах, молоко з колектора всмоктується через піновідділювач в молокоприймальну камеру. У цій камері розташований первинний вимірювальний перетворювач рівня рідини та зливний електроклапан. В процесі доїння рівень молока в молокоприймальній камері збільшується. Після досягнення певного рівня відкривається зливний клапан і накопичене в камері молоко скидається у загальний молокопровід. В залежності від інтенсивності молоковіддачі встановлюється рівень, при якому здійснюється скидання молока.

Позначимо через  $S_M$  площу дна молокоприймальної камери, тоді об'єм  $i$ -тої порції молока визначається виразом

$$V_{Mi} = S_M H_{Mi}, \quad (1)$$

де  $H_{Mi}$  - рівень молока в камері перед скиданням  $i$ -тої порції.

Разовий удій тварини визначається виразом

$$V_R = S_M \sum_{i=1}^{N_M} H_{Mi} = \sum_{i=1}^{N_M} V_{Mi}, \quad (2)$$

де  $N_M$  - кількість порцій молока, скинутих в молокопровід на протязі тривалості доїння однієї тварини.

Протягом доїння вимірюється поточний час та тривалість доїння кожної тварини  $t_{TD}$ . Середню інтенсивність молоковіддачі  $I_{MS}$  визначають як відношення разового удою до тривалості доїння

$$I_{MS} = \frac{V_R}{t_D} = \frac{1}{t_D} S_M \sum_{i=1}^{N_M} H_{Mi} = \frac{1}{t_D} \sum_{i=1}^{N_M} V_{Mi}. \quad (3)$$

Інтенсивність молоковіддачі на протязі перших тридцяти секунд після початку доїння визначається виразом

$$I_{30} = \frac{V_{M30}}{T_{30}}, \quad (4)$$

де  $V_{M30}$  - удій тварини на тридцятій секунді після початку доїння;  $T_{30}$  - часовий інтервал тривалістю тридцять секунд.

Удій на тридцятій секунді після початку доїння визначається за виразом

$$V_{M30} = S_M \left( H_{M30} + \sum_{i=1}^{N_{M30}} H_{Mi} \right), \quad (5)$$

де  $H_{M30}$  - рівень молока у молокоприймальній камері доїльного апарата на тридцятую секунду після початку доїння;  $N_{M30}$  - кількість повних порцій молока, що були сформовані станом на тридцятую секунду після початку доїння.

Інтенсивність молоковіддачі на протязі часового інтервалу від тридцяти до шістдесяти секунд після початку доїння визначається виразом

$$I_{60} = \frac{V_{M60} - V_{M30}}{T_{30}}, \quad (6)$$

де  $V_{M60}$  - удій тварини на шістдесятій секунді після початку доїння.

Удій на шістдесятій секунді після початку доїння визначається за виразом

$$V_{M60} = S_M \left( H_{M60} + \sum_{i=1}^{N_{M60}} H_{Mi} \right), \quad (7)$$

де  $H_{M60}$  – рівень молока у молокоприймальній камері доїльного апарата на шістдесятю секунду після початку доїння;  $N_{M60}$  – кількість повних порцій молока, що були сформовані станом на шістдесятю секунду після початку доїння.

Інтенсивність молоковіддачі на протязі часового інтервалу від шістдесяти до дев'яноста секунд після початку доїння визначається виразом

$$I_{90} = \frac{V_{M90} - V_{M60}}{T_{30}}, \quad (8)$$

де  $V_{M90}$  - удій тварини на дев'яностій секундні після початку доїння.

Удій на дев'яностій секундні після початку доїння визначається за виразом

$$V_{M90} = S_M \left( H_{M90} + \sum_{i=1}^{N_{M90}} H_{Mi} \right), \quad (9)$$

де  $H_{M90}$  – рівень молока у молокоприймальній камері доїльного апарата на дев'яносту секунду після початку доїння;  $N_{M90}$  – кількість повних порцій молока, що були сформовані станом на дев'яносту секунду після початку доїння.

Миттєва інтенсивність молоковіддачі визначається як перша похідна удою за часом, час цифрового диференціювання у цьому випадку значно менший, ніж час, за який у молокоприймальній камері формується порція молока. Позначимо через  $V_{M1}$  об'єм молока у камері в момент часу  $t_1$ , а через  $V_{M2}$  - об'єм молока у камері в момент часу  $t_2$ . Тоді вираз, за яким визначається миттєва інтенсивність молоковіддачі

$$I_{MV} = \frac{V_{M2} - V_{M1}}{t_2 - t_1} = \frac{S_M (H_{M2} - H_{M1})}{t_2 - t_1}, \quad (10)$$

де  $H_{M1}$ ,  $H_{M2}$  - відповідно рівень молока у камері в моменти часу  $t_1$  та  $t_2$ .

Час припуску молока  $T_p$  визначається як час після початку доїння, за який удій тварини склав сто грам. Об'єм молокоприймальної камери доїльного апарата перевищує об'єм, який відповідає ста грамам молока, тобто  $N_M = 1$ . Виходячи з цього, об'єм молока, який відповідає ста грамам його ваги, визначається виразом

$$V_{M100} = S_M H_{M100}, \quad (11)$$

де  $H_{M100}$  - рівень молока у молокоприймальній камері, який відповідає ста грамам його ваги.

Алгоритм контролю часу припуску молока полягає в наступному. Через двадцять секунд після початку доїння здійснюється вимірювання об'єму молока у молокоприймальній камері. Якщо виміряне у цей момент часу значення об'єму молока більше або дорівнює  $V_{M100}$ , вважається, що час припуску відповідає нормі.

### Список літературних джерел

1. Кулаков, П. І. Елементи теорії вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння / П. І. Кулаков. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 220 с.
2. Кучерук, В. Ю. Засіб вимірювання рівню молока для переносного доїльного апарату стійлової установки / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Восточно-европейский журнал передовых технологий. - 2014. - № 3/9 (69). - с. 16 - 22.
3. Кучерук, В. Ю. Похибквивимірюванняпараметрівмолоковіддачіпривикористанніфотоелектричног оперетворювачаінтенсивностімолочногопотоку / В. Ю. Кучерук, П. І. Кулаков, Д. В. Мостовий // ВісникінженерноїакадеміїУкраїни. - 2016. - № 4. - с. 220 -224.
4. Пристрій для вимірювання кількості молока та інтенсивності молочного потоку: Патент на корисну модель 92637 Україна: G01M 1/22 / Кучерук В. Ю., Паламарчук Є. А., Кулаков П. І., Гнесь Т. В.; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет; заявл. 31.03.2014 ; опубл. 26.08.2014, Бюл. № 16. - 3 с.



**О. М. Возняк к.т.н., доцент; І. В. Климчук студент; В. К. Тихонов доцент**

## **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ НЕСТАНДАРТНИХ ПАРАМЕТРІВ ЧОТИРИПОЛЮСНИКА**

*Ключові слова:* S-параметр, W-параметр, інваріантний коефіцієнт стійкості, чотириполосник, коротке замикання, холостий хід, коефіцієнт прямої передачі, коефіцієнт зворотної передачі.

Нині існує ряд різноманітних методів і засобів вимірювання параметрів чотириполосників. При вимірюванні параметрів чотириполосників у різних режимах отримують різні системи параметрів. Ці системи рівноцінні з точки зору перерахунку з однієї системи в іншу, але на практиці їх не можна вважати рівноцінними.

Вимірювання стандартних S-параметрів не забезпечує, як правило, достатньої точності режиму двостороннього погодження. Для опису чотириполосника, навантаженого на довільні комплексні навантаження, використовується нестандартна система S-параметрів, що містить повну інформацію про режим двостороннього погодження [1].

При вимірюванні нестандартних S-параметрів режим двостороннього погодження здійснюється практично, а апаратура дає можливість значно більш точно виміряти опір чотириполосника або комплексно-спряжені з ним опори навантажень в цьому режимі. Результатом вимірювань в цьому режимі є значення коефіцієнтів прямої  $G_{ном.пр}$  і зворотної  $G_{ном.зв}$  передачі та інваріантного коефіцієнта стійкості:

$$K_c = \frac{1 + G_{ном.пр} G_{ном.зв}}{2(G_{ном.пр} G_{ном.зв})^{0.5}}. \quad (1)$$

Найбільший інтерес представляють дві структурні схеми вимірювання нестандартних S-параметрів [2].

На підставі розгляду переваг та недоліків системи S- і W-параметрів чотириполосника, можна сформулювати вимоги до нової системи параметрів, яка по можливості мала б якомога більше переваг S- і W-параметрів та не мала б їхніх недоліків. Ці вимоги полягають у наступному. Елементи системи повинні мати явний фізичний сенс W-параметрів, їхні вимірювання повинні бути можливими в діапазоні надвисоких частот, похибка вимірювань зі зростанням непогодженості чотириполосника із вимірювальним трактом повинна бути мінімальною, для вимірювань не повинні використовуватися режими короткого замикання і холостого ходу. Установка для вимірювання параметрів повинна володіти стійкістю у випадку вимірювання параметрів потенційно нестійких чотириполосників. Ця проблема вирішується шляхом введення нової нестандартної системи параметрів [2].

В результаті аналізу техніки вимірювання нестандартних параметрів дозволяють зробити наступні висновки:

- проблема точності вимірювань стандартних і нестандартних параметрів чотириполосника.
- проблема якості роз'ємів і переходів, зусилля, витрачені на їхнє відпрацювання, винагороджуються на наступних етапах розробки;

Методи вимірювання нестандартних параметрів більш точні, оскільки найбільш важлива інформація добувається безпосередньо з вимірювань, що виконуються з необхідною точністю.

### *Список використаних джерел*

1. Балябин А.Н., Конягин Б.А., Лысенко В.Я., Пронин В.А., Рожков В.М. Малошумящий усилитель двусантиметрового диапазона волн на полевых транзисторах. –В кн.: полупроводниковая электроника в технике связи. –М.: Радио и связь, –1986. –Вып. 26. –С. 74-81.
2. Шварц Н.З. Линейные Транзисторные усилители СВЧ. –М.: Советское радио, –1980. –368

**В. Ю. Кучерук, д.т.н.; В.М. Севастьянов, к.т.н., доц.; В.С. Маньковська, к.т.н., ст. викладач**

**ДОСЛІДЖЕННЯ RL-ДІОДНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЕТЕРМІНОВАНО-ХАОТИЧНОГО СИГНАЛУ**

**Ключові слова:** хаотичні коливання, бар’єрна ємність, дифузна ємність, біфуркацій на діаграма.

При створенні параметричних резистивних вимірювальних перетворювачів для забезпечення необхідних метрологічних характеристик досить часто доводиться перетворювати досить малі зміни вихідного опору, наприклад, при тензометричних вимірюваннях.

Це в свою чергу призводить до підсилення випадкових завад на корисний сигнал, внаслідок чого збільшується випадкова похибка вимірювань. Тому підвищення чутливості резистивних вимірювальних перетворювачів із одночасним забезпеченням низького рівня випадкових шумів є актуальним завданням.

Одним із методів вирішення цієї задачі є використання RL-діодного генератора детерміновано-хаотичного сигналу (ГДХС) [1-3].

Аналіз причин і умов виникнення хаотичних коливань в RL-діодних ланцюгах і є предметом досліджень, викладених в даній роботі.

Для цього спочатку розглянемо схему заміщення діода [2].

Схема заміщення діода в режимі малого сигналу (у найбільш загальному випадку) представлена на рис. 1.

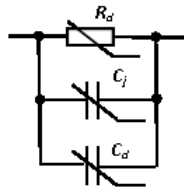


Рис. 1 – Схема заміщення діода в режимі малого сигналу

Відповідно до цієї схеми діод являє собою паралельне з’єднання нелінійного резистора  $R_d$  і двох нелінійних ємностей - бар’єрної  $C_j$  і дифузної  $C_d$ .

Бар’єрна ємність визначається за формулою:

$$C_j = \frac{C_{j0}}{\left(1 - \frac{U}{U_D}\right)^n}, \tag{1}$$

де  $C_{j0}$  – бар’єрна ємність при нульовій напрузі діода;  $U$  – напруга діода;  $U_D$  – дифузна напруга діода;  $n$  – технологічний коефіцієнт, який лежить в межах  $(1/3 \dots 2/3)$ .

Дифузна ємність визначається як:

$$C_d = \frac{\tau_B I_s}{m U_T} e^{\frac{U}{m U_T}}, \tag{2}$$

де  $I_s$  – тепловий струм діода;  $\tau_B$  – час життя неосновних носіїв заряду;  $U$  – напруга діода;  $U_T$  – теплова напруга діода;  $m$  – коефіцієнт емісії.

Слід зазначити, що в режимі прямої напруги при  $U \geq U_D$  бар’єрною ємністю можна знехтувати. У режимі зворотної напруги можна знехтувати дифузною ємністю.

Диференційне рівняння 2-го порядку для напруги на діоді має вигляд:

$$\left( LC_j(U_C) + LC_d(U_C) \right) \frac{d^2 U_C}{dt^2} + \left( \frac{L}{R_d(U_C)} + RC_j(U_C) + RC_d(U_C) \right) \frac{dU_C}{dt} + \left( \frac{R}{R_d(U_C)} + 1 \right) U_C = e.$$

де  $U_C$  – напруга на діоді,  $R_d(U_C)$  – опір діода,  $C_j(U_C)$  – бар’єрна ємність діода,  $C_d(U_C)$  – дифузна ємність діода.

Розв'язання цього рівняння виконується за допомогою модифікованого метода кусковолінійної апроксимації з використанням перехідних характеристик та інтегралу Дюамеля.

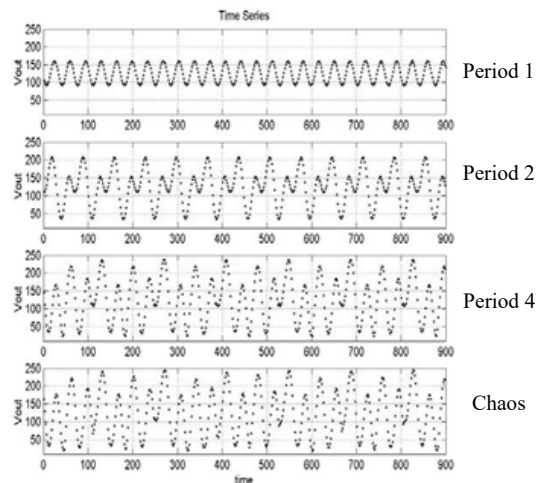


Рис. 2 – Графіки залежності  $U_R$  від  $t$

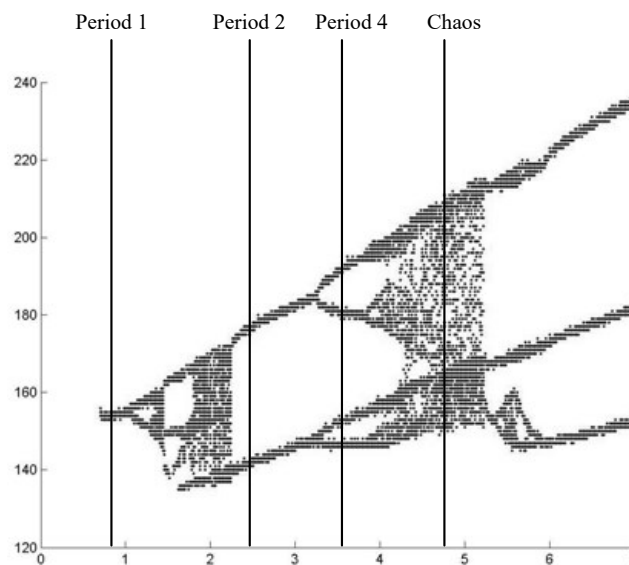


Рис.3 – Біфуркаційна діаграма

**Висновки.** Результат цього розв'язання показує, що в RL-діодних колах синусоїдного струму, якщо період коливань є сумірним зі сталою часу перехідного процесу, може виникнути ситуація, коли в кінці періоду струм в колі не згасає до нуля і новий період починається з ненульових початкових умов. При цьому, внаслідок суттєвої нелінійності параметрів схеми заміщення діода, в колі має місце практично незгасаючий перехідний процес, який приймає форму хаотичних коливань.

**Список літературних джерел:**

1. V. Kucheruk, Z. L. Warsza, V. Sevastyanow, W. Mankowska Generator oscylacji chaotycznych o układzie RL-diody jako przetwornik rezystancja-napięcie. PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 10/2013.
2. Кучерук В.Ю. Хаотичні коливання в RL-діодних колах високочастотного синусоїдного струму/ Кучерук В. Ю., Каців С. Ш., Маньковська В.С.// Контроль і управління в складних системах: XII Міжнародна конференція КУСС-2014, 14-16 жовтня, 2014 р.: тези доповіді. – Вінниця, 2014. – С. 65
3. Kucheruk V.Y. Research of the «determined chaos» phenomenon in the RL-diode electric circuit of sinusoidal current/ Katsyv S.Sh., Mykhalko M.V., Kucheruk V.Y., Mankovska V.S.// Proceeding the Sixth World Congress “Aviation in the XXI-st Century”, volume 1, September 23-25, Kyiv, 2014, p. 1.10.20-1.10.24

**СЕКЦІЯ 3 (SECTION 3)**  
**Математичне моделювання процесів**  
**в засобах вимірювання, контролю та діагностики**

О. О. Качмарчик, аспірант

## АНАЛІТИЧНА АПРОКСИМАЦІЯ КРИВИХ СИЛИ СВІТЛА В СЕРЕДОВИЩІ СИСТЕМИ МАТЕМАТИКА

**Ключові слова:** апроксимація, крива сили світла, поліном Лежандра, базисні функції, степеневі функції, математичне моделювання, апроксимація дискретизованих сигналів.

В проектуванні освітлювальних установок виникає необхідність аналітичного представлення результатів вимірювання однієї з найважливіших характеристик світлових приладів - кривої сили світла (КСС). Під час її вимірювання за допомогою люксметра знімають показання сили світла в межах різних тілесних кутів. Результати вимірювань отримують у вигляді таблиці. Для задання КСС у неперервному вигляді застосовуємо апроксимацію.

В роботі розглядається питання апроксимації кривих сили світла узагальненими поліномами в різних системах базисних функцій та координат. Для кривих сили світла, що задані таблично, завдання апроксимації полягає в пошуку узагальнюючих поліномів, що найбільш точно опишуть характеристику КСС. Вигляд полінома:

$$y(x) = \sum_{i=1}^m Y_i \cdot s_i(t)$$

Для полярної системи координат апроксимаційний поліном будується для радіус вектора, в залежності від базисної функції аргумента, тобто кута полярної системи координат.

Досліджено вплив виду системи базисних функцій і її порядку на точність апроксимаційної картини. Розглянуто ряд ілюстраційних прикладів.

Наведемо приклад апроксимації КСС застосовуючи способи апроксимації дискретизованих сигналів [1]. На (рис.1) зображено КСС з каталогу виробника та результати апроксимації на основі базисної системи з поліномами Лежандра 9 порядку.

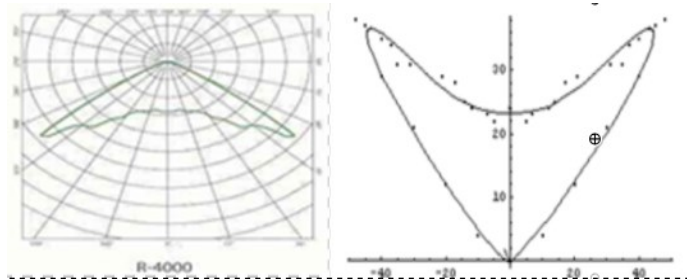


Рис.1. Крива сили світла світильника Brilux R-4000 з каталогу виробника, та результат апроксимації.

Проведені розрахункові експерименти в різних системах базисних функцій дозволяють зробити висновок, що при апроксимації із застосуванням степеневих функцій розбіжність коефіцієнтів значно більша, ніж у функцій на основі поліномів Лежандра.

Розглянуті приклади можуть бути корисними при автоматизованому проектуванні систем освітлення, сукупність коефіцієнтів апроксимації поліномів може розглядатись як альтернативний графічному спосіб завдання параметрів кривої сили світла.

Список літературних джерел

1. Васильев В.В. Математическое и компьютерное моделирование процессов и систем: Аппроксимация сигналов с использованием системы Mathematica®: учебное пособие – К.: НАН Украины, 2007. – 127с.
2. Шмидский Я.К. Mathematica 5. Самоучитель.: М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. - 592 с.
3. Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.
4. Каталог продукции фирмы Brilux

**С.В.Заболотній, д.т.н., доц.; Z.L. Warsza, PhD, Assoc. Prof. (emeritus)**

## **ПОЛІНОМІАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЦЕНТРУ СИМЕТРИЧНИХ ДВОМОДАЛЬНИХ СУМІШЕЙ ЕКСПОНЕНЦІЙНИХ РОЗПОДІЛІВ**

Двомодальний розподіл, стохастичний поліном, оцінка, дисперсія, кумулянти.

Координата центру розподілів визначає положення випадкової величини на числовій осі. Оскільки розподіл погрішностей результатів вимірів, як правило, є симетричними, то цей параметр вказує на центр їх симетрії. Таким чином величина зсуву центру розподілу від нульового значення (за відсутності систематичної погрішності) визначає оцінку параметра, що вимірюється. І хоча найбільш поширеною статистикою для визначення величини центру розподілів є середнє арифметичне, існують й інші способи визначення цього параметра. Наприклад, якщо використовувати принцип імовірнісної симетрії, то природною оцінкою центру розподілу є її медіана, яка є ефективнішою оцінкою для одномодальних гостровершинних розподілів (зокрема, розподілу Лапласа). У свою чергу, для класу обмежених розподілів (арксинусного, рівномірного) більш ефективною є оцінка у вигляді середини розмаху.

Таким чином, вибір оптимального (за критерієм мінімуму дисперсії) методу оцінювання істотно залежить від характеру розподілів і вимагає попередньої обґрунтування імовірнісної моделі. При ідентифікації такої моделі рекомендується розглядати ширшу множину законів розподілу, у тому числі, моделі у вигляді сумішей законів. В цьому випадку для будь-якого емпіричного розподілу можливо побудувати адекватну та статистично істотно більш обґрунтовану математичну модель [1].

Одним з альтернативних підходів до статистичного оцінювання є метод максимізації полінома (ММПл) [2]. Цей відносно новий метод знаходження оцінок параметрів базується на апараті стохастичних поліномів Кунченко і використовує опис випадкових величин у вигляді статистик вищих порядків (моментів і кумулянтів). У роботі [3] здійснено порівняльний аналіз ефективності ММПл-оцінок і оцінок у вигляді середнього арифметичного постійної складової (центру розподілів) для різних типів (арксинусного, рівномірного, трапецієвидного, трикутного) симетрично-розподілених негаусових випадкових величин, а також досліджені властивості емпіричних розподілів оцінок залежно від об'єму вибірки.

Метою даної роботи є дослідження властивостей і порівняльний аналіз ефективності апостеріорного варіанту (за відсутності апріорної інформації про статистичні параметри вимірювальної моделі) ММПл-оцінок координати центру симетричних двомодальних розподілів, що формуються на основі сумішей гаусових розподілів та розподілів Лапласа.

Аналіз сукупності отриманих результатів статистичного моделювання методом Монте-Карло показує, що відносна ефективність ММПл-оцінок істотним чином залежить від імовірнісного характеру експоненціальних компонент і глибини антимодальності. Так, для гостровершинних моделей (на основі розподілу Лапласа) вигреш ММПл-оцінок в точності (зменшення дисперсії) у порівнянні з класичними оцінками (середнім арифметичним, медіаною і центром згинів) не перевищує 10 % і спостерігається лише в досить вузькій області значень глибини антимодальності. У свою чергу, для сумішей, заснованих на розподілі гауса, із зростанням глибини антимодальності відносна точність ММПл-оцінок зростає і призводить до істотного (більш ніж в 2 рази) зменшення їх дисперсії порівняно з відомими оцінками.

Крім того, отримані аналітичні вирази, які при дотриманні умов нормалізації пов'язаних з достатнім об'ємом вибірок ( $n > 50$ ), описують дисперсії ММПл-оцінок, що дозволяє обчислювати розширену невизначеність результатів вимірів і будувати довірчі інтервали оцінок параметрів.

### **Список літературних джерел**

1. Лемешко, Б. Ю. (2004). О задаче идентификации закона распределения случайной составляющей погрешности измерений. Метрология, (7), 8-17.
2. Kunchenko Y. (2002), Polynomial Parameter Estimations of Close to Gaussian Random variables. Germany, Aachen: Shaker Verlag.
3. Warsza, Z. L. and Zabolotnii, S. W. (2017) 'A Polynomial Estimation of Measurand Parameters for Samples of Non-Gaussian Symmetrically Distributed Data BT - Automation 2017: Innovations in Automation, Robotics and Measurement Techniques'. Cham: Springer International Publishing, pp. 468-480. doi: 10.1007/978-3-319-54042-9\_45

**Й.Й. Білинський, д.т.н., проф., К.В. Огородник, к.т.н., доц., О.О. Лазарєв, к.т.н., доц.,  
А.В. Сироватський, магістрант**

## **РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ РЕЗОНАНСНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ**

Ключові слова: ультразвук, математична модель, резонансний метод, вимірювання параметрів, контроль, ультразвуковий перетворювач, швидкість звуку, відбиття хвиль.

На сьогодні акустичну, а саме ультразвукову контрольно-вимірювальну апаратуру використовують в різних галузях науки та техніки. Ультразвукові методи застосовують для контролю параметрів твердих речовин та рідин, а останнім часом ультразвук знайшов своє використання і при визначенні параметрів газів. В останні роки кількість наукових публікацій за даною тематикою неухильно зростає, що свідчить про актуальність подібних досліджень.

Ультразвукові вимірювачі базуються на залежності характеристик ультразвукових коливань від властивостей і складу середовища, в якому поширюється ультразвук [1]. Як правило використовують чотири основні параметри хвиль, які піддають аналізу при ультразвукових вимірюваннях: фазовий зсув або різниця фазових зсувів, частота (або вимірювання різниці частот повторення коротких імпульсів чи пакетів ультразвукових коливань), амплітуда сигналу та час (безпосереднє вимірювання часу або різниці часу проходження коротких імпульсів).

Кожен з вищенаведених методів аналізу має певні недоліки, основними з яких є низька точність за рахунок неоднорідності структури об'єкту контролю, а також неточність у реєстрації положення початку імпульсного сигналу, обумовлена розмиттям фронту наростання сигналу, залежність чутливості, а, отже, і частоти імпульсного сигналу від розмірів об'єкта, складність обробки сигналу у зв'язку з використання багатоканальної структури ультразвукового вимірювача. Тому дослідження, спрямовані на вдосконалення існуючих та розробку нових методів ультразвукового вимірювального контролю, є безперечно актуальними.

Основою резонансного методу є явище стоячих акустичних хвиль, що виникає в середовищі внаслідок інтерференції падаючої та відбитих хвиль. В системі випромінювач-приймач виникає резонанс за умови [2]:

$$L = n\lambda/2,$$

де  $L$  – відстань між приймачем та випромінювачем,  $n$  – ціле число,  $\lambda$  – довжина акустичної хвилі в середовищі, що досліджується. Оскільки довжина хвилі залежить від частоти  $f$  та швидкості звуку  $v$  в даному середовищі ( $\lambda = v/f$ ), а швидкість  $v$  залежить від таких параметрів середовища, як пружність та густина, що, в свою чергу, залежать від складу середовища, температури, тиску, тощо, то, подаючи сигнал різних частот та реєструючи частоту резонансу, можна визначати параметри середовища, що досліджується.

Амплітуда сигналу в площині приймача визначається виразом:

$$A(L, t) = A_{II}(L, t) + A_{B1}(L, t) + A_{B2}(L, t) + \dots + A_{Bk}(L, t),$$

де  $A_{II}(L, t)$  – амплітуда падаючої акустичної хвилі,  $A_{B1}(L, t)$ ,  $A_{B2}(L, t)$ ,  $A_{Bk}(L, t)$  – амплітуди, відповідно, першої, другої та  $k$ -тої відбитої хвиль. Амплітуда падаючої хвилі визначається виразом  $A_{II}(L, t) = A_0 \sin(2\pi ft)$ . Амплітуда відбитої хвилі при цьому буде

визначатися виразом  $A_{Bk}(L, t) = R^{2k} A_0 e^{-2\delta kL} \sin\left[2\pi f\left(\left(\frac{-2kL}{v}\right) + t\right)\right]$ , де  $R$  – коефіцієнт відбиття,

$\delta$  – коефіцієнт затухання хвилі в середовищі.

Для перевірки адекватності запропонованої моделі поширення ультразвукової хвилі проведено її комп'ютерне моделювання та експериментальні дослідження. В якості досліджуваного середовища обрано повітря (температура 20°C, швидкість звуку 343м/с, атмосферний тиск 1 атм). Оскільки ультразвук сильно затухає в повітрі (коефіцієнт затухання близько 12дБ/м на частоті 200кГц) та внаслідок неповного відбиття (взято коефіцієнт відбиття 0,9) при моделюванні для

спрощення обмежимося лише десятою відбитою хвилею. При цьому вираз математичної моделі для моделювання має вигляд:

$$A(L,t) = \sum_{k=0}^{10} R^{2k} A_0 e^{-2\delta k L} \sin \left[ 2\pi f \left( \left( \frac{-2kL}{v} \right) + t \right) \right].$$

На рис. 1 зображена часова діаграма сигналу на приймачі для відстані 34,3мм, коли виконується умова резонансу, та для відстані 34,73мм, коли виконується умова антирезонансу. З графіків видно, що амплітуди сигналів відрізняються приблизно в 5 разів, що підтверджує чутливість моделі.

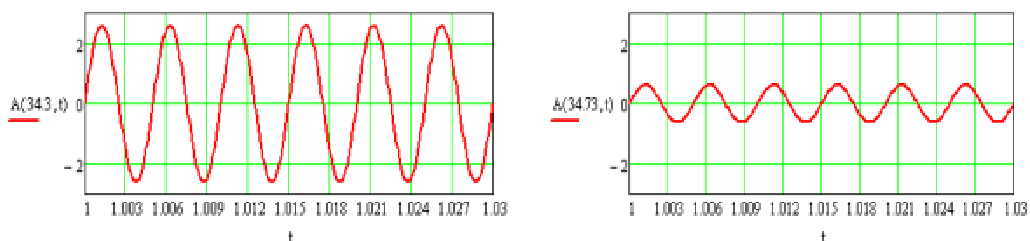


Рисунок 1 - Часові діаграми сигналу на приймачі для умови резонансу (а) та антирезонансу (б)

На рис. 2 наведена залежність амплітуди сигналу на приймачі для відстані між передавачем-приймачем 25-35мм для частоти 200кГц. Квадратами показані результати експериментальних досліджень. При врахуванні меншої кількості відбитих хвиль графік має спотворення.

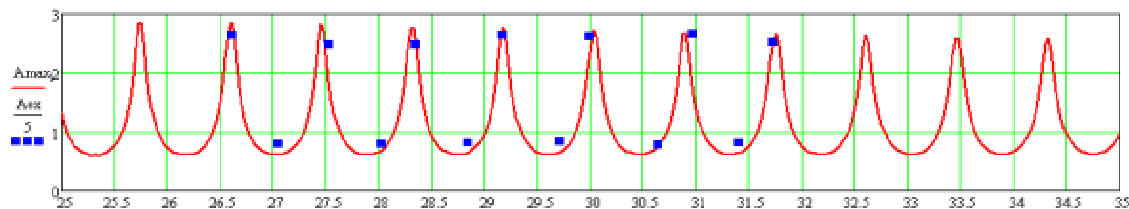


Рисунок 2 – Амплітуда сигналу на приймачі для відстані 25-35 мм

Час приходу відбитої хвилі залежить від швидкості ультразвуку у середовищі, а, отже, від таких параметрів середовища, як густина, пружність, вологість тощо. Запропоновано ультразвуковий метод вимірювального контролю параметрів середовища, який полягає у визначенні моментів приходу на приймач чергової відбитої хвилі. Результати моделювання приходу хвиль наведено на рисунку 3. Як видно з графіку, амплітуда прийнятого сигналу наростає стрибкоподібно, відповідно до моментів приходу чергової відбитої хвилі.

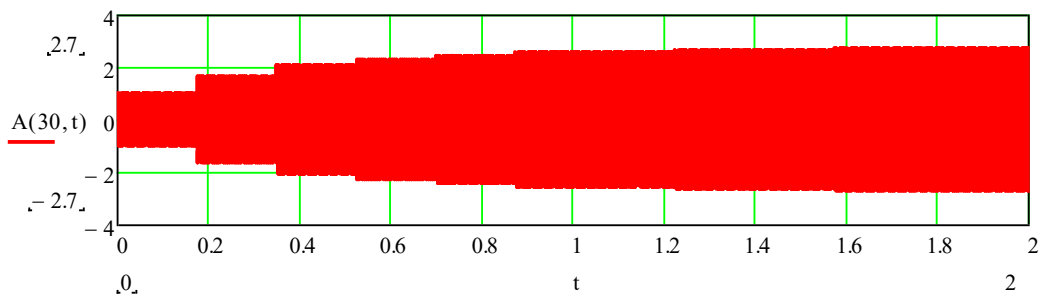


Рисунок 3 – Наростання амплітуди сигналу на приймачі на частоті 200 кГц та відстані 30 мм

Результати моделювання мають високу збіжність з результатами експериментальних досліджень, що підтверджує адекватність математичної моделі та можливість розробки на її основі нових методів ультразвукового контролю параметрів речовин та матеріалів.

Список літературних джерел

1. Неразрушающий контроль: Справочник в 7-ми томах. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3. Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.
2. Акимов В.В. Применение ультразвукового резонансного метода для определения упругих и пластических характеристик сплавов TiC-TiNi // В.В. Акимов, Н.А. Иванов / Прикладная механика и техническая физика. – Новосибирск, 2002. – № 2(252). – С. 203-207.



Куц Ю.В., д.т.н., проф., О.В. Монченко, к.т.н., доц., Мазуренко Є.І., Репецька Н.О., Редька М.О.

## ВИКОРИСТАННЯ ЗВАЖЕНОЇ $r$ -СТАТИСТИКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВІРОГІДНОСТІ ВІЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ТОВЩИНОМЕТРІЇ

Ультразвукова товщинометрія, перетворення Гільберта, кругова статистика, фазова характеристика.

В практиці дослідження композиційних матеріалів (КМ) і виробів з них спостерігається тенденція розширення області застосування ультразвукового неруйнівного контролю (УЗНК) та покращення показників якості засобів контролю за рахунок використання нових інформаційно-вимірjuвальних технологій. Одним з поширених методів дослідження матеріалів і виробів є луна-імпульсний метод ультразвукової товщинометрії (УЗТ) [1], проте в КМ присутнє значне загасання ультразвукових коливань, що ускладнює процес виявлення і аналізу сигналів УЗТ, а в деяких випадках взагалі унеможливує реалізацію процесу УЗНК існуючими засобами.

В [2] розглянуто спосіб виявлення сигналів УЗТ КМ  $u(t)$ , які існують у формі загасаючої послідовності радіоімпульсів з гармонічною несучою відомої частоти  $f$ , і спостерігаються на фоні адитивної гауссової завади  $\xi(t)$ , за поточними значеннями  $r$ -статистики ( яка ще відома як вибіркова результуюча довжина вектора). Ця статистика належить до множини кругових статистик, що визначаються для розподілених на колі випадкових кутових величин. В цьому способі  $r$ -статистика обчислюється з фазової характеристики сигналу УЗТ.

В доповіді запропоновано удосконалення цього способу за рахунок додаткової вагової функції для зваженого оцінювання  $r$ -статистики. Для виявлення донних сигналів визначається фазова характеристика сигналу, обчислюється різниця цієї характеристики та фази гармонічного коливання з частотою  $f$ , розраховується  $r$ -статистика, отримана під час ковзного віконного опрацювання цієї різниці фаз вікном  $W1$ , визначається зважена статистика  $r_{зв}$ , яку отримують перемноженням  $r$ -статистики на поточні значення її середнього квадратичного відхилення, отримані під час ковзного віконного опрацювання  $r$ -статистики другим ковзним вікном  $W2$ .

Методологія отримання ФХС УЗТ ґрунтується на застосуванні до сигналу УЗТ перетворення Гільберта. Структурно-логічну схему опрацювання сигналів УЗТ та формування рішення щодо наявності/відсутності донних сигналів представлено на рис. 1.

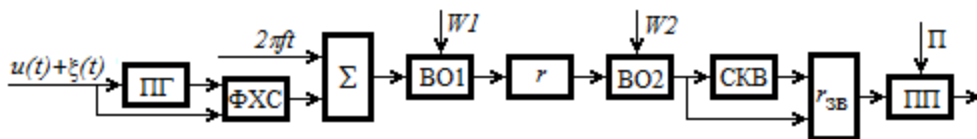


Рис.1 Удосконалена структурно-логічна схема опрацювання сигналів УЗТ

Для елементів схеми використано наступні позначення: ПГ – перетворювач Гільберта, ФХС – модуль визначення ФХС,  $\Sigma$  – суматор, ВО1,2 – модулі ковзного віконного опрацювання даних,  $r, r_{зв}$  – модулі визначення відповідно  $r$ -статистики та  $r_{зв}$ -статистики, СКВ – модуль визначення середнього квадратичного відхилення, ПП – модуль порівняння з порогом  $\Pi$  та прийняття рішення про наявність донного сигналу.

В роботі наведено результати моделювання процесу опрацювання сигналу за запропонованим методом, дано рекомендації щодо вибору значень  $W1, W2$  та  $\Pi$ . Отримані результати підтвердили досягнення поставленої мети – підвищення вірогідності виявлення донних імпульсів на 7 -10 % без збільшення потужності зондуючих сигналів чи збільшення кількості вимірjuвальної інформації.

Список літературних джерел

1.Неразрушающий контроль и диагностика. : справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев и др.; под. ред. В. В. Клюева.– 3–е изд., испр. и доп.– М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.: ил.

2. Куц Ю.В., Щербак Л.М. Статистична фазометрія / Тернопіль: Вид.-во Тернопільського державного технічного ун.-ту ім. Івана Пулюя. –2009. –383 с.

**В.Б.Мокін, д.т.н., проф.; О.Б.Мокін, д.т.н., проф.; Б.І.Мокін, д.т.н., проф.;**  
**С.О.Довгополюк, аспірант; І.О.Чернова, аспірант**

## **ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ МІНІМАЛЬНО-ФАЗОВИХ СИСТЕМ ВИСОКОГО ПОРЯДКУ В КЛАСІ НЕМІНІМАЛЬНО-ФАЗОВИХ**

**Ключові слова:** мінімально-фазові системи, математичні моделі, системи високого порядку, немінімально-фазові системи, еквівалентування, диференціальні рівняння, метод синтезу моделей

Оскільки для визначення і компенсації динамічних похибок вимірювальних систем необхідно знати їх математичні моделі, то актуальною є задача синтезу таких моделей мінімального порядку, адже чим вищим є порядок моделі вимірювальної системи, тим більшим є вплив на її динамічні похибки завад, які накладаються на сигнали, що нею вимірюються.

У роботі [1] ми показали, за яких умов можна синтезувати математичні моделі мінімального порядку, не вищого другого, для мінімально-фазових динамічних систем того класу, до якого відносяться і вимірювальні системи, що не мають внутрішніх зворотних зв'язків.

У роботах [2, 3] ми довели, що для динамічних систем зі зворотними зв'язками в класі мінімально-фазових, у тому числі вимірювальних, математична модель при відсутності похідних у правій частині диференціального рівняння не може мати порядок, нижчий третього.

У роботі [4] ми довели, що для динамічних систем зі зворотними зв'язками в класі мінімально-фазових, у тому числі вимірювальних, математична модель при наявності похідних у правій частині диференціального рівняння не може мати порядок, нижчий суми, що складається з порядку старшої похідної у правій частині цього рівняння та числа 3 (три).

У роботі [5] її автором зібрані відомі на час її опублікування результати, присвячені синтезу математичних моделей немінімально-фазових систем, у тому числі і мінімального порядку, не вищого другого, але з алгоритмами пошуку числових значень їх параметрів у часовій області, які не мають здатності фільтрувати вплив завад, що наряду з корисними сигналами прикладаються до системи.

У цій нашій роботі, яку ми представляємо в якості доповіді на наукову конференції «ВКДТС-2017», ми пропонуємо метод синтезу математичних моделей динамічних систем в класі немінімально-фазових з порядком, не вищим другого, які є еквівалентними математичним моделям мінімально-фазових систем високих порядків, та алгоритми ідентифікації еквівалентних моделей, занурені в частотну область, чим досягається їх завадостійкість при розрахунках чисельних значень параметрів цих моделей.

### **Список літературних джерел**

1. Мокін Б. І. Метод ідентифікації процесів у багатовимірних динамічних об'єктах, що допускають лінеаризацію, математичними моделями не вище третього порядку, еквівалентними за частотою зрізу / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, О. Б. Мокін, І. О. Чернова // Наукові праці Вінницького національного технічного університету [Електронний ресурс]. Англ., рос. та укр. мовами. – 2014. – № 3. – С. 1-10. – Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/415>

2. Мокін Б. І. Ідентифікація еквівалентної за критичною частотою математичної моделі мінімального порядку для багатовимірного динамічного об'єкта/Б.І. Мокін, В.Б. Мокін, О.Б. Мокін І.О.Чернова// Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2014. – №5. – С. 7-15.

3. Boris I. Mokin. Determining the conditions and designing the methods for description of processes in complex dynamic objects by equivalent models not higher than the third-order / Boris I. Mokin, Alexander B. Mokin, Vitaliy B. Mokin, Irina A. Chernova // Journal of Automation and Information Sciences. – 2016. – Issue 3. – Vol. 48. – pp. 83-97.

4. Boris I. Mokin. Construction of a mathematical model of the minimum order for a linear dynamical system with feedback / Boris I. Mokin, Irina A. Chernova // Journal of Automation and Information Sciences. – 2017. – Issue 3. – Vol. 49. – pp. 69-77.

5. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. Перевод с польского / Х. Гурецкий // М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.

**І.А. Омельчук, В.Ю. Кучерук, д.т.н., проф.**

## **СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ МІЖКАЛІБРУВАЛЬНИХ ІНТЕРВАЛІВ**

Все більше інтегрування України в загальноєвропейський економічний простір відкриває нові можливості та перспективи для розвитку усіх галузей промисловості, але вироблена продукція повинна відповідати високим показниками якості. Щоб бути конкурентоздатними і вести успішну економічну діяльність, підприємствам необхідно застосовувати високоефективні і результативні системи якості. Найважливішою ланкою забезпечення якості на підприємстві є точність й достовірність вимірювань, необхідних для виготовлення високоякісної продукції.

Одним із завдань метрологічних служб є підтримання засобів вимірювальної техніки в стані їх метрологічної надійності, та контроль часу збереження даного стану.

Тому розроблення методів контролю якості роботи ЗВТ в реальних умовах експлуатації та оцінювання показників метрологічної надійності конкретних промислових ЗВТ є гострою потребою підвищення якості вимірювальних процесів у сучасних виробництвах, лабораторній та медичній практиці.

### **Існуючі методи**

На сьогоднішній день багато науковців працює над розробкою методів оцінювання метрологічних характеристик та метрологічної надійності.

Також існують рекомендації та стандарти європейських розробників щодо визначення та коригування міжкалібрувальних інтервалів. Одним з таких стандартів є ІLAC-G 24/OIML D10:2007 [1].

Метою цього стандарту є надання лабораторіям настанов, щодо оцінювання міжкалібрувальних інтервалів.

Проблемним до сьогодні залишається розроблення універсального методу, який дозволяє проводити попереднє оцінювання міжкалібрувального інтервалу одиничного засобу вимірювальної техніки, що працює за конкретних умов експлуатації, та навантаження.

Актуальність даної теми полягає в узагальненні та адаптації статистичних методів оброблення результатів калібрувань, з метою розробки способу оцінювання міжкалібрувального інтервалу який задовольняв би вимогам калібрувальних лабораторій щодо простоти та універсальності.

### **Мета і задачі дослідження**

Метою розробки є узагальнення існуючих методів, що існують на сьогоднішній день, та адаптація їх до умов використання в метрологічній практиці, впровадження в метрологічну практику новітніх методів оцінювання якості роботи обладнання як лабораторного, так і технологічного, Європейських підходів по індивідуальному оцінюванню метрологічних характеристик з урахуванням специфіки роботи конкретного приладу.

### **Математичний апарат та методика виконання методу, що пропонується**

На сьогоднішній день методи статистичного моделювання широко використовуються в економічних розрахунках та прогнозах. Так, джерело [8] присвячене побудові статистичних моделей зі змінним параметрам для прогнозування нестационарних часових рядів, експонентного згладжування - одного з найпростіших і розповсюджених прийомів вирівнювання ряду, в основі якого лежить розрахунок експонентних середніх.

Враховуючи, що використання ЗВТ є циклічним, результати вимірювань, отримані на ЗВТ, можуть бути розглянуті як дискретний стохастичний часовий ряд, з певним кроком, який в умовах конкретної лабораторії також є різним і визначає частоту вимірювань за допомогою даного ЗВТ. Очевидно, що для кожної лабораторії цей показник є індивідуальним.

Як вказано в [2], експонентну середню  $S_t$  можна виразити через значення часового ряду  $x$

$$\begin{aligned} S_t &= \alpha x_t + \beta S_{t-1} = \alpha x_t + \alpha \beta x_{t-1} + \beta^2 S_{t-2} = \dots = \\ &= \alpha x_t + \alpha \beta x_{t-1} + \alpha \beta^2 x_{t-2} + \dots + \alpha \beta^l x_{t-l} + \dots + \beta^N S_0 = \alpha \sum_{i=0}^{N-l} \beta^i x_{t-i} + \beta^N S_0, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $N$  - кількість членів ряду;  $S_0$  - деяка величина, що характеризує початкові умови для першого застосування формули при  $t = 1$ ;  $\alpha$  - параметр згладжування,  $\alpha = const, 0 \leq \alpha \leq 1$ ;  $\beta = 1 - \alpha$ .

Отже, 
$$S_t = \alpha \sum_{i=0}^{\infty} \beta^i x_{t-i}. \quad (2)$$

Таким чином, величина  $S_t$  є зваженою сумою всіх членів ряду. Причому вага падає експоненційно залежно від давнини (віку) спостереження. Це й пояснює, чому величина  $S_t$  названа експонентною середньою.

При проведенні тестових обрахунків прогнозних даних було взято вибірку з 20 послідовних замірів температури. При цьому 10 перших замірів було взято як дані для побудови поліному експонентного згладжування ряду, що здійснюється за рівнянням (1). Результати обрахунків наведено на рис. 1.

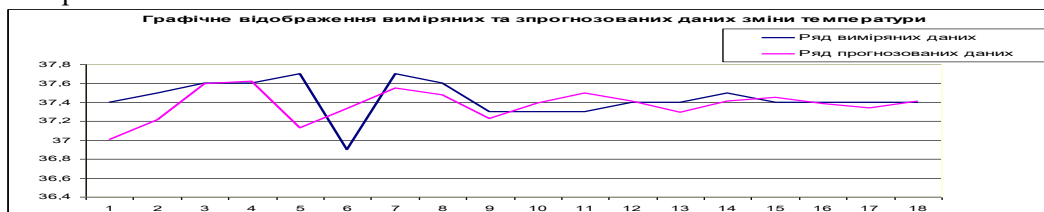


Рис. 1. Графічне відображення результатів обрахунків прогнозу змін температури та похибок прогнозування

Як видно з вище вказаних даних, прогнозовані дані є корельовані з дійсними виміреними значеннями, та повторюють коливальний характер зміни температури в камері термостату. Однак, застосування вимірених даних є не зовсім раціональним як з точки зору складності та кількості обрахунків, так і з точки зору глибини і прогнозування. Тому доцільніше застосовувати комплексний параметр  $Z$  – показник, який широко використовується для оцінки правильності роботи лабораторій.

Кількісний показник  $z$ -індекс розраховується за формулою (3):

$$z = \frac{x - X}{\hat{\sigma}} \quad (3)$$

де:  $x$  – результат вимірювання температури;

$X$  – установлене значення значення температури.

$\sigma$  - стандартне відхилення для серії вимірювань.

Графічне відображення результатів оборахунків наведено на мал 1 та 2



Рис. 1. Графічне відображення результатів обрахунків прогнозу змін температури по  $Z$  показнику

Як видно з графіків,  $Z$ -показник найбільш точно описує розвиток процесу в пронозі.

Таким чином, застосовуючи методи прогнозування, і знаючи параметри ЗВТ, що застосовується в лабораторії, та вимоги до точності вимірювань, що регламентується в даній лабораторії, можна розрахувати ту кількість циклів вимірювання, яку може зробити ЗВТ без перекалібрування – повторного юстування за допомогою еталонної бази, що наявна в лабораторії, або в калібрувальних лабораторіях.

#### Перелік використаних літературних джерел

1. Рекомендації EUROLAB–Україна з впровадження вимог ISO/IEC 17025: 2005 в практику випробувальних та калібрувальних лабораторій.

2. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: Учеб. пособие. - М.: Финансы и статистика, 2003. - 416 с.

## ВХІДНИЙ МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НА МІСЦЕВОСТІ

Ключові слова: машинне навчання, розпізнавання, інформаційний критерій, оптимізація, електронна карта, інформаційно-екстремальна інтелектуальна технологія.

Широке використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для розв'язання пошукових і розвідкових задач обумовило необхідність створення автономних бортових систем для розпізнавання, визначення координат і супроводження наземних об'єктів. Створення таких бортових систем є особливо актуальним через технічну складність забезпечення високої завадо захищеності каналів радіозв'язку в діапазоні довгих радіохвиль, оскільки БПЛА мають невеликі радіуси дії. При цьому повідомлення про результати розпізнавання об'єкту на місцевості можуть бути надійно передані на наземний комплекс шляхом використання завадо захищеного кодування і технічного забезпечення. Як перспективний шлях інформаційного синтезу автономних геоінформаційних систем (ГІС) розпізнавання є застосування ідей і методів машинного навчання та розпізнавання образів. Функціональна ефективність систем розпізнавання, побудованих на відомих методах інтелектуального аналізу даних, включаючи нейронні та імунні мережі, суттєво залежить від багатовимірності словника ознак і алфавіту класів розпізнавання. При цьому класи розпізнавання, які характеризують відповідні об'єкти на місцевості, можуть суттєво перетинатися в просторі ознак, що вимагає на етапі формування навчальної матриці складних перетворень вхідних даних. Крім того, складність розв'язання цієї задачі полягає в довільних початкових умовах формування зображень об'єкту, що розпізнається, обумовлених різними ракурсами аерофотозйомки, висотою БПЛА, положенням і місцезнаходженням об'єкту, погодними умовами під час пошуку тощо. Основною задачею машинного навчання є побудова високо достовірних вирішальних правил. Цю задачу доцільно розв'язувати в рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології) аналізу даних, яка ґрунтується на максимізації в процесі машинного навчання інформаційної спроможності системи розпізнавання [1]. Перевагою методів в рамках ІЕІ-технології є застосування геометричного підходу до побудови вирішальних правил, що робить їх практично нечутливими до багатовимірності. Крім того, перетворення вхідної навчальної матриці в бінарну шляхом допускового кодування ознак розпізнавання дозволяє в процесі машинного навчання адаптувати вхідний математичний опис ГІС до безпомилкових за навчальною матрицею вирішальних правил.

Розглянемо постановку задачі машинного навчання ГІС для розпізнавання транспортних засобів на місцевості в рамках ІЕІ-технології. Нехай електронну карту, одержану за результатами реконструкції місцевості в процесі аерофотозйомки розбито на  $K$  кадрів, серед яких виділено зону інтересу, наприклад, автомагістраль. За результатами аерофотозйомки для заданого алфавіту  $\{X_m^o \mid m = \overline{1, M}\}$  класів розпізнавання, які характеризують транспортні засоби, що розпізнаються, сформовано навчальну матрицю  $\|y_{m,i}^{(j)}\|$  яскравості пікселів рецепторного поля кадру. В навчальній матриці рядок  $\{y_{m,i}^{(j)} \mid i = \overline{1, N}\}$ , де  $N$  – кількість ознак розпізнавання, є вектором-реалізацією (далі просто реалізація)  $m$ -го кадру зображення, а стовпчик матриці – випадкова навчальна вибірка  $\{y_{m,k,i}^{(j)} \mid j = \overline{1, n}\}$  обсягу  $n$ . Крім того, для кожного класу розпізнавання  $X_m^o$  задано структурований вектор параметрів навчання

$$g_m = \langle \delta; d_m, x_m \rangle,$$

(1)

де  $\delta$  – параметр симетричного поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання, величина якого дорівнює його половині;  $d_m$  – радіус гіперсферичного контейнера класу розпізнавання, який відновлюється в радіальному базисі простору ознак;  $x_m$  – усереднена реалізація класу  $X_m^o$ .

На область значень параметра  $\delta$  накладається обмеження  $\delta < \delta_H / 2$ , де  $\delta_H$  – нормоване поде допусків для ознак розпізнавання, а область значень радіуса гіперсферичного контейнера класу розпізнавання  $X_m^o$  задається нерівністю

$$d_m < d(x_m \oplus x_c),$$

де  $d(x_m \oplus x_c)$  – кодова відстань між реалізацією  $x_m$  і усередненою реалізацією  $x_c$  найближчого сусіднього класу  $X_c^o$ ;  $\oplus$  – символ логічної операції додавання за модулем 2.

Необхідно в процесі машинного навчання ГІС оптимізувати координати вектора (1), які забезпечують максимальне значення усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного критерію в робочій (допустимій) області визначення його функції:

$$\bar{E}^* = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \max_{G_E \cap \{k\}} E_m^{(s)}, \quad (2)$$

де  $E_m^{(k)}$  – значення інформаційного критерію, обчислене на  $k$ -му кроці навчання;  $G_E$  – область допустимих значень функції інформаційного критерію;  $\{k\}$  – множина кроків навчання.

При функціонуванні ГІС в режимі екзамену необхідно розпізнати транспортний засіб в рецепторному полі бортової електронної карти місцевості.

Таким чином, задача інформаційного синтезу здатної навчатися ГІС полягає в оптимізації параметрів машинного навчання шляхом наближення глобального максимуму інформаційного критерію (2) до його максимального граничного значення.

Вхідна навчальна матриця формувалася шляхом оброблення в полярних координатах на рецепторному полі кадру зони інтересу розміром  $50 \times 50$  пікселів одержаних при аерофотозйомці зображень автомобілів різних типів. При цьому важливого значення для бортової ГІС набуває задача центрування об'єкту, що розпізнається. Цю задачу було запропоновано розв'язувати шляхом порогової кластеризації зображення кадру, який відносився до зони інтересу – автомагістралі. Оскільки кадри електронної карти місцевості були попередньо пронумеровані, то центр поляризації визначався шляхом поділу суми пікселів, які входять у виделений кластер, на їх кількість. Після визначення центру поляризації значення кожної ознаки розпізнавання  $x_{m,i}, i = \overline{1,50}$ , обчислювалося як усереднене значення яскравості пікселів, що належать колу зчитування  $i$ -го радіусу,  $i = \overline{0,50}$ , за формулою

$$x_{m,i} = \frac{1}{N_i} \sum_{n=1}^{N_i} \eta_n,$$

де  $\eta_n$  – значення яскравості в  $n$ -му пікселі кола зчитування;  $N_i$  – загальна кількість пікселів в  $i$ -му колі зчитування.

Навчальна матриця, наприклад, для класу  $X_m^o$  формувалася із структурованих векторів-реалізацій  $x_m^{(j)}, j = \overline{1, n_{\min}}$ , які склалися із обчислених за формулою (3) ознак розпізнавання. При цьому для обчислення кількості ознак в  $i$ -му колі зчитування була запропонована процедура, яка полягала в перетворенні рецепторного поля в декартове координатне поле, нульова координата якого збігалася з центром поляризації, та обчисленні відстаней всіх координат від їх центра. Потім визначалися пікселі з однаковими відстанями і зчитувалися їх яскравості.

Як приклад розглядалася задача розпізнавання на автомагістралі автомобілів трьох типів. Машинне навчання ГІС здійснювалося за інформаційно-екстремальним алгоритмом з оптимізацією контрольних допусків на ознаки розпізнавання [2]. При цьому як критерій оптимізації параметрів навчання використовувалася модифікована інформаційна міра Кульбака. Повна ймовірність правильного розпізнавання транспортного засобу дорівнювала  $P_i = 0,86$ . Подальшим кроком підвищення функціональної ефективності є збільшення згідно з принципом відкладених рішень Івахненка О. Г. глибини машинного навчання.

#### Список літературних джерел

1. Довбиш, А. С. Основи проектування інтелектуальних систем: навчальний посібник [Текст] / А. С. Довбиш // Вид-во СумДУ. - 2009. – 171 с.
2. Куценко О. С. Геоінформаційна система ідентифікації кадрів при реконструюванні місцевості / О. С. Куценко, Б. Л. Кащєєв. М. І. Мироненко // Вісник НТУ «ХП». Серія : Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: НТУ «ХП», 2017. – № 46. – С. 53 – 61.

**Я.В. Литвиненко, к.т.н., доц.; П.О. Марущак, д.т.н., проф.**

## **ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЦИКЛІЧНОГО ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУ І ПОЛІНОМІАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ДИНАМІЧНОГО РУЙНУВАННЯ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ**

Ключові слова: технічне діагностування, модель руйнування, адитивний метод, аналіз механізмів руйнування.

Експериментальні дослідження динамічного руйнування магістральних нафто- та газопроводів дозволяють встановити основні закономірності деформаційних процесів в сталях різних класів міцності за високих швидкостей поширення тріщини [1]. Проте на даний час ще не створено єдиного стандарту який би включав в себе урахування основних ефектів, що є визначальними для опису пружно-пластичних властивостей та динамічної міцності матеріалів при ударних навантаженнях.

Саме тому математичний опис динамічного деформування та руйнування, оцінювання кінетики поширення дефектів в магістральних газопроводах активно розвивається, з метою створення простих та дієвих моделей, які дозволять фізично коректно та достатньо просто описати ці складні явища [2, 3]. Особливу увагу приділяють вибору, або створенню ефективних чисельних методів та алгоритмів їх оптимізації з метою забезпечення достовірності обчислень.

Разом з тим, як і для інших складних явищ питання ідентифікації параметрів та обґрунтування достовірності пропонованих моделей спричиняють певні труднощі при математичному описі цих процесів. Дана робота спрямована на продовження та доповнення існуючих досліджень циклічних випадкових процесів [4], з метою точнішого опису кінетики поширення тріщини за динамічного руйнування магістрального газопроводу на основі детальнішого урахування коливань швидкості зумовлених гілкуванням вершини тріщини, при поширенні вздовж тіла труби.

Пропонований підхід дозволить встановити фізичний зв'язок пружно-пластичного руйнування труби з коливаннями швидкості на різних відстанях від місця старту тріщини динамічного руйнування. Розвиток таких методів моделювання кінетики поширення тріщини в трубі є основою створення нових технологічних підходів виготовлення труб підвищеної міцності із збереженням високої в'язкості матеріалу.

Метою даної роботи є використання математичної моделі циклічного випадкового процесу для опису динамічного руйнування труби магістрального газопроводу, з урахуванням стохастичної та циклічної природи цього явища.

Особливістю пропонованого підходу є інтерпретація та модельний опис закономірностей динамічного руйнування труби з урахування релаксаційних механізмів в вершині тріщини зумовлених нелінійною поведінкою магістрального дефекту, структурно-механічною релаксацією, непружним деформуванням та пластичним течінням.

Отже, відомо кілька стадій руйнування труби магістрального газопроводу:

- утворення первинної тріщини та її старт – стрімке поширення тріщини під впливом внутрішнього тиску у трубі;
- ріст тріщини, за якого зростає її довжина та знижується швидкість поширення, внаслідок зміни напружено-деформованого стану;
- «стабілізація» швидкості поширення тріщини внаслідок «самоорганізації» процесу руйнування матеріалу труби.
- втрата стійкості та кінцеве руйнування труби.

Проте, оскільки опис динамічного руйнування труби має бути з одного боку фізично обґрунтованим, а з іншого забезпечувати прийнятну точність та коректність опису, було зроблено припущення про можливість опису всіх вказаних ділянок руйнування труби єдиною ступеневою залежністю. Це дозволяє, крім зазначених вище умов забезпечити ще й достатню простоту обчислень та уникнути визначення значної кількості параметрів. Слід підкреслити, що таке спрощення є вимушеним кроком, до якого спонукає складність макро- та мікромеханізмів динамічного руйнування труби.

Пропонований підхід полягає у використанні адитивної математичної моделі у вигляді

$$V(\omega, l) = f(l) + \xi(\omega, l), \quad \omega \in \Omega, l \in \mathbf{R}, \quad (1)$$

де  $\xi(\omega, l)$  – циклічний випадковий процес як модель циклічної компоненти сигналу;  $f(l)$  – детермінована функція, що відображає тренд процесу руйнування труби,

$$f(l) = \sum_{n=0}^3 c_n \cdot l^n, \quad l \in \mathbf{R}, \quad (2)$$

де  $c_n$  – коефіцієнт поліноміальної функції (2).

На рисунку 1 подано результати порівняння змодельованої швидкості поширення тріщини в магістральному газопроводі, з експериментальними даними [2, 3].

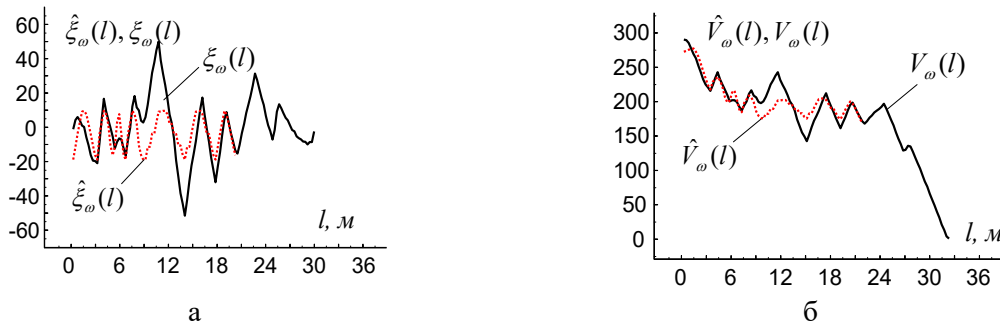


Рис. 1. Порівняння результатів імітаційного моделювання (а, б) швидкості поширення тріщини в магістральній трубі з експериментальними даними:  $\hat{\xi}_\omega(l)$  - змодельована циклічна компонента з врахуванням статистичних оцінок;  $\xi_\omega(l)$  - визначена з вхідного сигналу циклічна компонента;  $\hat{V}_\omega(l)$  - змодельована реалізація процесу поширення тріщини в магістральній трубі з врахуванням статистичних оцінок циклічної компоненти та трендової компоненти;  $V_\omega(l)$  - вхідна реалізація процесу швидкості росту тріщини.

Відносна середньоквадратична похибка моделювання, не перевищує (у проведених експериментах) 15 %, що є достатнім для інженерного оцінювання. Таким чином, модель руйнування магістрального газопроводу розглянуто у вигляді суми детермінованої поліноміальної функції та циклічного випадкового процесу. Створений пакет комп'ютерних програм, що ґрунтуються на запропонованій математичній моделі для аналізу двовимірної структури росту тріщини вздовж її траєкторії. Проведено обґрунтування пропонованих методів та підходів, ідентифікацію параметрів та верифікацію моделі на основі порівняння з літературними експериментальними даними.

У подальших дослідженнях планується дослідити застосування експоненціальної функції як моделі трендової компоненти та порівняти отримані результати моделювання швидкості поширення тріщини в магістральній трубі на основі двох підходів з використанням поліноміальної та експоненціальної трендових компонент.

1. Nordhagen H.O., Kragset S., Berstad T., Morin A., Dorum C., Munkejord S.T. A new coupled fluid-structure modeling methodology for running ductile fracture // Computers and Structures, 2012, Vol. 94-95, P. 13-21.
2. Oikonomidis F., Shterenlikht A., Truman C.E. Prediction of crack propagation and arrest in X100 natural gas transmission pipelines with the strain rate dependent damage model (SRDD). Part 1: a novel specimen for the measurement of high strain rate fracture properties and validation of the SRDD model parameters // Int. J. Pres. Ves. and Piping, 2013, Vol. 105-106, P. 60-68.
3. Oikonomidis F., Shterenlikht A., Truman C.E. Prediction of crack propagation and arrest in X100 natural gas transmission pipelines with a strain rate dependent damage model (SRDD). Part 2: Large scale pipe models with gas depressurisation // Int. J. Pres. Ves. and Piping, 2014, Vol. 122, P. 15-21.



4. Lytvynenko I.V., Maruschak P.O., Lupenko S.A. Processing and modeling of ordered relief at the surface of heat-resistant steels after laser irradiation as a cyclic random process // Automatic Control and Computer Sciences, 2014, Vol. 48, Issue 1, P. 1-9.

**І.В. Коноваленко, к.т.н., доц.; П.О. Марушак, д.т.н., проф.**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЯМОК ВІДРИВУ НА ПОВЕРХНЯХ РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ**

Ключові слова: оптико-цифровий аналіз, зображення, фрактодіагностування, ямки відриву, нейронна мережа.

Розроблення сучасних інформаційних систем для автоматизованого аналізу та прогнозування деформаційної поведінки та руйнування конструкційних матеріалів є важливим науковим завданням. При цьому, для коректного опису мікромеханізмів руйнування матеріалу важливо встановити взаємозв'язок між локальними морфоструктурними проявами, зокрема ямками відриву, для в'язкого руйнування та системою їх самоузгодженого формування [1]. Саме це, дозволяє оцінити неоднорідність напружено-деформованого стану системи, сприяє інтенсифікації технічного діагностування стану модифікованої поверхні, підвищує рівень достовірності аналізу [2].

Сучасні системи фрактодіагностування ґрунтуються на математичних моделях, які в свою чергу розробляються виходячи із фізичних передумов опису досліджуваного процесу, явища, або системи. Відомо алгоритми для розпізнавання на зображеннях поверхні зламу ямок відриву та обчислення їх геометричних параметрів [3]. Для виділення на зображенні ямок відриву вони передбачають застосування до початкових зображень ряду перетворень, зокрема: фільтрування, адаптивне граничне перетворення тощо. Сегментовані таким чином зображення містять сукупність об'єктів, які відповідають локалізованим ямкам. В подальшому саме ці об'єкти використовують для аналізу поверхні. Недоліком цього підходу є необхідність підбору параметрів для окремих кроків алгоритму, значення яких відмінне для різних зображень.

Для вдосконалення процесу розпізнавання на зображеннях ямок відриву дослідили можливість застосування штучної нейронної мережі. З цією метою використали класифікатори на основі алгоритмів: AdaBoost, MLP (багатошаровий перцептрон), Bagging, ExtraTrees, GradientBoosting, RandomForest, KNeighbors, SVC.

Навчання нейромережі проводили на вибірці, яка сформована з фрагментів початкових зображень розміром  $3 \times 3$  пікс, кожен з яких однозначно ідентифікований як фон чи об'єкт (ямка відриву). Початкову ідентифікацію об'єктів для навчальної вибірки виконували за допомогою раніше розробленого та відпрацьованого алгоритму [2,3]. На рис. 1,а приведено приклади початкових зображень поверхонь зламу, отриманих за допомогою електронного скануючого мікроскопа РЕМ 106И.

Для навчання на основі попередньо розпізнаних зображень (як на рис. 1, б) було сформовано навчальну вибірку з більш як  $1.2 \times 10^6$  фрагментів розміром  $3 \times 3$  пікс, половина з яких належали фону, а інша половина – об'єктам. При цьому використовували зображення, отримані:

- в різних умовах;
- на різних зразках;
- за різних збільшень.

Особливістю вказаного підходу є те, що він орієнтований на чіткий розподіл рівнів інтенсивності пікселів, які належать фону та об'єктам. Це спричиняє певні недоліки навченої таким чином нейромережі, оскільки за градієнту кольору в межах дослідженої поверхні, зумовленого наприклад значним перепадом висот, «затінені» ділянки хибно розпізнаються як об'єкти. Разом з тим на однорідно освітлених ділянках, які є типовими для навчальної вибірки, об'єкти стійко розпізнаються.

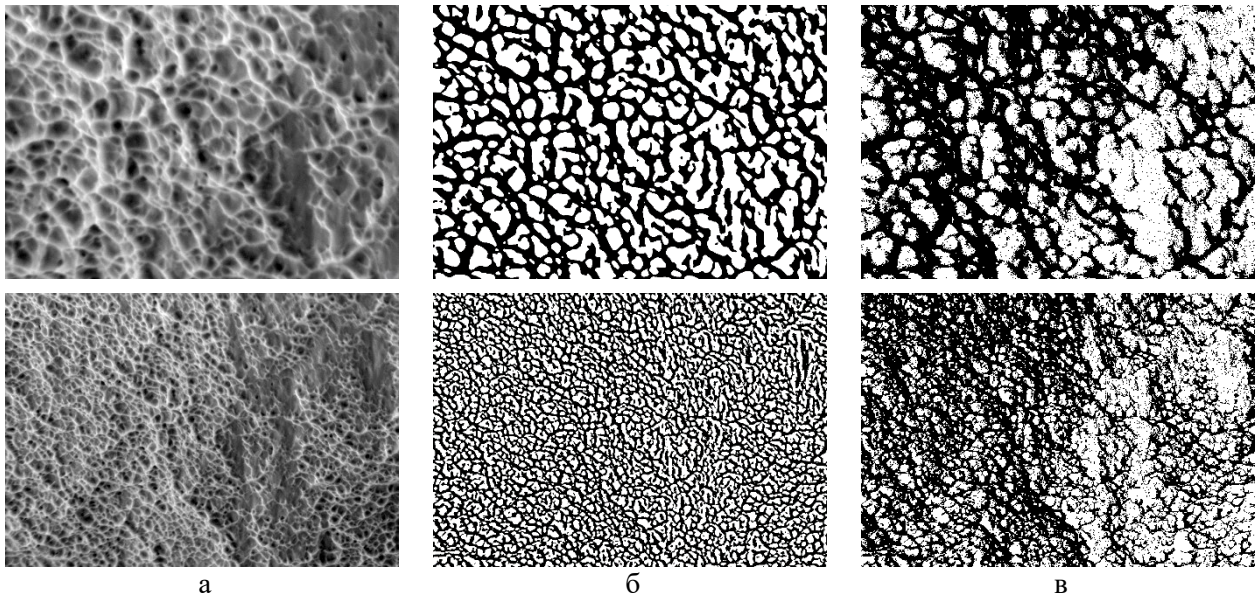


Рис. 1. Початкові зображення поверхні зламу з ямками відриву (а), зображення для навчання нейромережі з ідентифікованими об'єктами (ямками) за алгоритмом [3] (б) і результат розпізнавання об'єктів нейромережею (в)

У табл. 1 приведено середню точність розпізнавання ділянок, які належать об'єктам, при застосуванні різних класифікаторів.

Таблиця 1. Середня точність розпізнавання для різних класифікаторів

Алгоритм	Середня точність розпізнавання, %
AdaBoost	76
Bagging	75
ExtraTrees	75
GradientBoosting	77
MLP	77
RandomForest	75
KNeighbors	74
SVC	73

На нашу думку, розроблену нейромережу можна застосовувати для швидкого попереднього аналізу зображень поверхонь руйнування, одержаних на сканівному мікроскопі. Запропонований метод дає змогу виділяти складові частини досліджуваних об'єктів, здійснювати їх морфологічний аналіз, а також оцінювати їхній взаємозв'язок.

1. Automatic characterization of fracture surfaces of AISI 304LN stainless steel using image texture analysis / S. Dutta, A. Das, K. Barat, H. Roy // Measurement: J. of the Int. Measur. Confederat. – 2012. – 45 (5). – P. 1140–1150.
2. Konovalenko I.V., Maruschak P.O. Automated method for studying the deformation behavior of a material damaged by a thermal fatigue crack network, Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2013. – Vol. 49. – Issue 3. – P. 243–249.
3. Digital analysis of shape and size of dimples of ductile tearing on fracture surface of long-operated steel / P. Maruschak, I. Konovalenko, O. Prentkovskis, O. Tsyurulnyk // Procedia Engineering. – 2016. - Vol. 134. - P. 437-442.

Надія Бурау, д.т.н., професор, Сергій Рупіч, аспірант

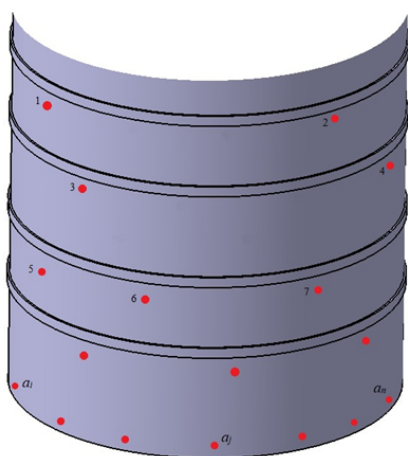
## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ БАГАТОКЛАСОВОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ДЛЯ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПОШКОДЖЕННЯ СКЛАДНОГО ПРОСТОРОВОГО ОБ'ЄКТА

Ключові слова: багатокласове розпізнавання, вектор діагностичних ознак, нейромережевий класифікатор, локалізація пошкодження, параметр впливу

Безпечне та надійне функціонування складних просторових об'єктів різного призначення нерозривно пов'язане з моніторингом їх технічного стану, для якого характерним є аналіз великих обсягів діагностичної інформації. Традиційні методи неруйнівного контролю та технічної діагностики мають обмеження щодо оперування великорозмірними, нелінійними та неповними даними, що надходять з контрольованого об'єкту. Тому для сучасних систем моніторингу важливим напрямком розвитку є застосування інтелектуальних інформаційних технологій на різних рівнях процесу моніторингу. Одним із напрямків інтелектуалізації систем моніторингу є розробка та впровадження підсистем багатокласового розпізнавання технічного стану об'єктів. Це є важливим науково-практичним завданням для складних просторових об'єктів зі зварними чи заклепковими з'єднаннями, в яких є ймовірність появи та розвитку багатоосередкових пошкоджень. Тому для технічного стану таких об'єктів під час експлуатації характерним є багатокласовість як у просторовому (розташування пошкодження по поверхні об'єкту), так і в часовому (розвиток пошкодження) вимірах. Для забезпечення багатокласового розпізнавання з метою своєчасного виявлення пошкоджень і моніторингу їхнього розвитку пропонується розробка нейромережевого (НМ) класифікатора стану об'єкта, який є підсистемою багатоканальної системи моніторингу [1]. Метою даної роботи є моделювання процесу багатокласового розпізнавання для локалізації пошкодження складного просторового об'єкту.

НМ класифікатор, який побудований на основі ймовірнісної нейронної мережі (ІНМ), повинен мати високу чутливість до малих змін діагностичних ознак, виконувати нелінійне розділення на класи та мати можливість розрізняти стани за змінами різної кількості діагностичних ознак.

Вхідний багатовимірний вектор діагностичних ознак  $A_0$  формується в результаті обробки діагностичної інформації методами статистичного, багатоспектрального, масштабно-часового та фрактального аналізу. Кожна ознака  $a_i (i = 1 \dots N)$  – це характеристика об'єкта в певній точці прийняття інформації (рис. 1). Кількість ознак  $N$  може варіюватися в залежності від кількості вимірювальних каналів. Локалізація багатоосередкової пошкоджуваності полягає у визначенні точки, в якій відбувається поява пошкодження та / або його розвиток.



Локалізація пошкодження $\Delta_0 = \text{const} = 5\%$	
Одиничного	Множинного (на прикладі двох діагностичних ознак)
клас $S_0$ відповідає бездефектному стану об'єкту контролю ( $\Delta \leq 5\%$ )	
до класу $S_1$ відносяться вхідні вектори, в яких $\Delta a_1 > 5\%$	до класу $S_1$ відносяться вхідні вектори, в яких $\Delta a_1, \Delta a_2 > 5\%$
до класу $S_2$ відносяться вхідні вектори, в яких $\Delta a_2 > 5\%$	до класу $S_2$ відносяться вхідні вектори, в яких $\Delta a_1, \Delta a_3 > 5\%$
⋮	
до класу $S_n$ відносяться вхідні вектори, в яких $\Delta a_n > 5\%$	до класу $S_n$ відносяться вхідні вектори, в яких $\Delta a_{n-1}, \Delta a_n > 5\%$

Рисунок 1.

Ілюстрація задачі локалізації багатоосередкового пошкодження складного просторового об'єкта

Класифікатор відносить об'єкт до одного з визначених класів функціонального стану, які розділяються за наявністю, розмірністю та локалізацією пошкоджуваності. Було встановлено допустиме відхилення  $\Delta_0 = \pm 5\%$  від параметрів, що характеризують працездатний бездефектний стан об'єкту контролю. Згідно цього, клас  $S_0$  відповідає бездефектному функціонуванню об'єкта.

Локалізація одиничної пошкоджуваності полягає у визначенні такого стану, за якого відхилення будь-якої однієї ознаки буде перевищувати допустиме значення. Таким чином, до класу  $S_i$  відносяться вхідні вектори, в яких  $\Delta a_i$  перевищує  $\pm 5\%$ . У загальному випадку, до класів  $S_N$  відносяться вхідні вектори, в яких  $\Delta a_N$  перевищують допустиме відхилення  $\Delta_0$ . Для кожного з класів формуються вектори навчальних множин такі, щоб відповідали вищезазначеним умовам. Ймовірна нейронна мережа містить в собі параметр *spread*, що накладає функціональні обмеження на точність та якість класифікації.

Аналогічно визначаються класи для множинної чи багатоосередкової локалізації пошкоджуваності. Наприклад, якщо можливе пошкодження в будь-яких двох точках об'єкту, то відхилення одночасно двох діагностичних ознак може перевищувати встановлене значення для бездефектного стану. Тому, до класів  $S_N$  відносяться вхідні вектори, в яких будь-які два  $\Delta a_{N-1}$ ,  $\Delta a_N$  перевищують допустиме відхилення  $\Delta_0$ .

У даній роботі розглядається вектор діагностичних ознак  $A_0$ , який містить 5 ознак. У такому випадку стан об'єкту контролю описується 6-ма класами  $S_0 - S_5$ .

Для процесу моделювання використано пакет прикладних програм *Matlab*[2]. На рис. 2 наведено структурну блок-схему НМ класифікатора, де  $x\{1\}$  – вхідна множина векторів,  $y\{1\}$  – результат. НМ складається з двох шарів. Нейрони першого шару мають радіально-базисні функції активації, блок TDL слугує лінією затримки масиву вхідних векторів; *weight* – блок, що містить ваги шару НМ; *bias* – зсув  $b$ , який потрібен для корекції чутливості нейрона.

Другий шар – шар конкуренції. Нейрони мають конкуруючу функцію активації *compet*, яка формує на виході значення 1, якщо вхідний вектор відповідає певному класу, і 0 в інших випадках. Тобто, шар конкуренції обчислює ймовірність приналежності вхідного вектору до того чи іншого класу, а потім вибирає клас з найбільшою ймовірністю.

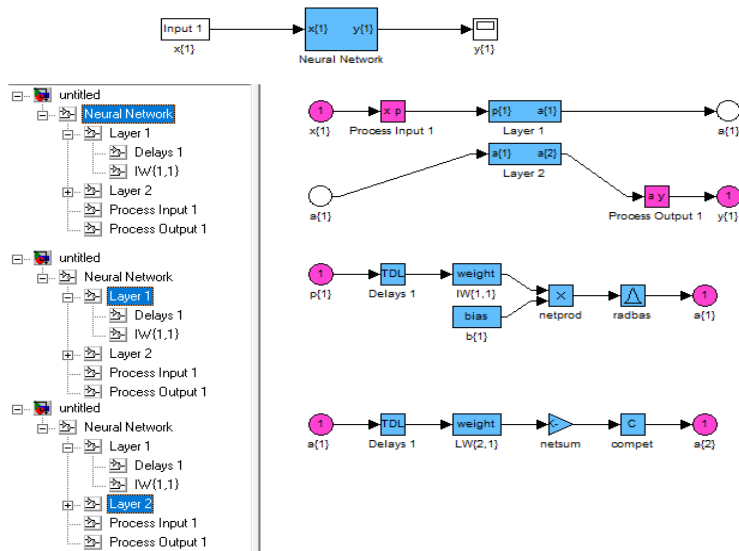


Рисунок 2. Структурна блок-схема НМ класифікатора в програмному середовищі Matlab

Розроблений класифікатор використанов процесі локалізації одиничного та множинного, на прикладі двох діагностичних ознак, пошкодження складного просторового об'єкту. Відповідно до проведеного моделювання та розпізнавання, визначено достовірність класифікації та встановлено параметри мережі для безпомилкового діагностування

Список літературних джерел:

1. Бурау Н. І. Проблеми інтелектуалізації в системах SHM: оцінювання, прогнозування, багатокласове розпізнавання / Н. І. Бурау, С. О. Цибульник, С. С. Рупіч // Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування : праці конференції. – Тернопіль, 2017. – С. 234-237.
2. Бурау Н. І. Синтез нейронної мережі для багатоканальної діагностики елементів конструкції в експлуатації / Н. І. Бурау, А. Г. Протасов, П. С. Мироненко, С. С. Рупіч / Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. – № 2(35). – С.83-94.

**В.П.Квасніков В.П., д.т.н., проф.; Ю.В.Чорненький, аспірант**

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПОХИБКИ РУХУ ТОЧКИ ШАРИКО-ГВИНТОВОЇ ПАРИ**

**Ключові слова:** моделювання, моделювання похибки, рух точки, шарико-гвинтова пара, ймовірнісні характеристики, кінематична точність, математичне очікування.

Дослідження присвячено обліку похибок виготовлення шарико-гвинтової пари на базі математичної статистики та теорії випадкових чисел. Сумування поздовжніх переміщень точок дотику шариків з канавками гвинтів та гайок, розрахованих в результаті рішення контактної задачі, у відповідності до відповідних поздовжніх переміщень, що викликано випадковими впливами визначить кінематичну точність шарико-гвинтової пари в цілому.

У відповідності з методикою розрахунку параметрів кінематичної точності шарикових гвинтових пар при необмеженому збільшенні  $n$ , отримано набір експериментально отриманих точок  $A_i(\gamma_i, e_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , який трансформується в деяку криву, що являє собою графічну залежність  $e = e(s)$ .

Запропоновано відповідну до кривої неперервну функцію природньо вважати реалізацією випадкової функції не випадкового аргументу  $E = E(s)$  дійсного переміщення від номінального для сукупності всіх гвинтів даного типорозмірного  $S$  за довжиною різьби гвинта.

Показано, що маючи досить широкий набір реалізацій, можна визначити ймовірнісні характеристики функції  $E(s)$ , а саме, математичне очікування, дисперсію, кореляційну функцію, закони розподілення перерізів цієї функції, та на основі цих характеристик проводити статистичні розрахунки кінематичної точності шарико-гвинтової пари.

В деяких випадках математичне очікування функції  $E(s)$  є постійним (близько до 0). Такий випадок є самим простим для дослідження та являє собою одну з необхідних умов стаціонарності  $E(s)$ . В других випадках – математичне очікування функції  $E(s)$  лінійне та залежить від  $s$ , та функція  $E(s)$  не є стаціонарною. Третій випадок є найбільш загальним: математичне очікування функції  $E(s)$  нелінійне та залежить від  $s$  та, як і в другому випадку, функція  $E(s)$  не є стаціонарною.

Виявилось, що якщо випадковий процес  $E(s)$  є неоднорідним та його можна розкласти на більш елементарні процеси, то функція  $E(s)$  неергодична. Та навпаки, внутрішня однорідність процесу свідчить про ергодичність функції  $E(s)$ .

Якщо для різних гвинтів однієї і тієї ж серії однотипних гвинтів змінювати, наприклад, швидкість роботи інструменту, то такий процес не є внутрішньо однорідним та хоча він і є стаціонарним, але властивості ергодичності мати не буде. Якщо ж технологія виготовлення гвинтів однорідна (стабільна), то є причина вважати функцію  $E(s)$  ергодичною.

Показано, що маючи достатньо широкий вибір реалізацій, можна визначити ймовірнісні характеристики функції  $E(s)$ , а саме, математичне очікування, дисперсію, кореляційну функцію, закони розподілення перерізів цієї функції, та на основі цих характеристик проводити статистичні розрахунки кінематичної точності шарико-гвинтової пари.

**Р.М. Джала, д.т.н., ст.н.с.; І.Б. Івасів, к.т.н.; О.О. Червінка; Л.Є. Червінка**  
**МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИГНАЛУ**  
**СЕНСОРА ДИФУЗНОГО ВІДБИВАННЯ СВІТЛА ДЛЯ ОЦІНКИ КОНЦЕНТРАЦІЇ**  
**ТА РОЗМІРІВ КОРОЗІЙНИХ ВИРАЗОК НА ПОВЕРХНІ МЕТАЛУ**

**Ключові слова:** корозійні виразки, оцінювання розмірів і концентрації, оптичний сенсор, дифузне відбивання світла, моделювання, сигнал, імітатор.

Важливою задачею ранньої діагностики корозії поверхні металу є швидка оцінка концентрації та стадії розвитку корозійних виразок. Оскільки ці стадії для окремих виразок можуть суттєво відрізнитись, отримуватимемо значний розкид розмірів виразок (від декількох мікрон до десятих долей міліметра), що, за малих концентрацій, ускладнює візуальний контроль корозійного ураження поверхні. Застосування ж методів мікроскопії, якими зазвичай досліджують подібні дефекти, в польових умовах без відбору зразків є технічно недоцільним.

В якості інструменту для польових досліджень можна застосовувати описаний в [1] сенсор дифузного відбивання світла (ДВС), в якому зондування здійснюється крізь прозору підкладку, виконану у формі призми, основа якої служить робочою поверхнею, а скісні грані – для вводу зондувального пучка світла та вимірювання кутової характеристики дифузного відбивання (рис.1). Зондувальний пучок сформовано так, щоб він фокусувався на скісній (приймальній) грані призми, де розміщена фотолінійка. Натомість, ширина пучка на робочій поверхні достатньо велика.

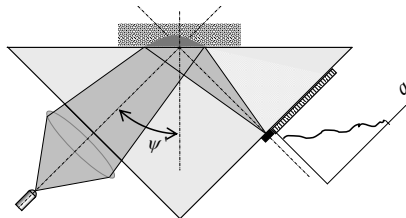


Рис. 1. Оптична конфігурація призматичного сенсора дифузного відбивання світла

Перевагою такої оптичної схеми є отримання сигналу з репрезентативної ділянки поверхні без застосування дорогої техніки сканування. Крім того, вона дає змогу створити жорстку конструкцію кріплення оптичних елементів, що забезпечує достатньо надійну роботу сенсора у промислових та польових умовах.

У даній роботі моделювали сигнал запропонованого сенсора для корозійних виразок з урахуванням різних фізичних моделей поверхні з виразками. Отримані модельні дані порівнювали з експериментальними результатами, отриманими для імітаторів поверхні з корозійними виразками.

Сигнал сенсора  $I_r(q)$  можна записати за допомогою функціонала

$$I_r(q \neq q_0) = \frac{N}{S_c} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \int_{y_{\min}(x)}^{y_m(x)} f_r(\omega_i, \omega_r; \sigma_s(\theta_s, d), n(d), g_{jk}(r); x, y) K_s(x, y, q) dx dy, \quad (1)$$

де  $q_0$  – координата (номер чутливого елемента) точки фокусування зондувального пучка на фотолінійці,  $S_c$  – площа чутливого елемента фотолінійки,  $N$  – лічильна концентрація розсіювачів світла на досліджуваній поверхні,  $f_r(\omega_i, \omega_r; \sigma_s(\theta_s, d), n(d), g_{jk}(r))$  – двопробенева функція відбивної здатності,  $K_s(x, y, q)$  – повна апаратна функція сенсора,  $\omega_i = \omega_i(x, y, q)$ ,  $\omega_r = \omega_r(x, y, q)$  – напрямки для падаючого і відбитого променів,  $\sigma_s(\theta_s, d)$  – диференціальний переріз розсіювання для кута  $\theta_s$  і розміру розсіювача  $d$ ,  $n(d)$  – дисперсний склад (розподіл лічильних концентрацій розсіювачів за діаметрами),  $g_{jk}(r)$  – парціальні радіальні функції розподілу,  $x, y$  – координати точки на досліджуваній поверхні.

Моделювання сигналу сенсора на основі вказаного функціоналу здійснювали на різних фізичних моделях розсіювачів світла, що відповідають як різним видам корозійних виразок, так і умовам оптичного контакту досліджуваних поверхонь металів з робочою поверхнею сенсора.

Зокрема, розглядали моделі гомогенних оптично жорстких сферичних розсіювачів на гладкій поглинальній підкладці (для продуктів корозії в мікропорах за умови нещільного оптичного контакту досліджуваної поверхні з поверхнею сенсора) та моделі гетерогенних включень на дисперсній металічній підкладці (для моделювання субміліметрових виразок з продуктами корозії на напилених металічних поверхнях). При цьому, для моделей з гетерогенними виразками враховували випадковий характер їх розміщення та набирали відповідну статистику.

На рис. 2а показано результати моделювання для сферичних частинок міді (імітують продукти корозії червоного кольору) з діаметрами 6, 12 та 50 мкм, а на рис. 2б показано сигнали для декількох реалізацій випадкового розміщення на поглинювальній підкладці гетерогенних плямок розміру 0,1 мм, заповнених частинками міді діаметром 50 мкм.

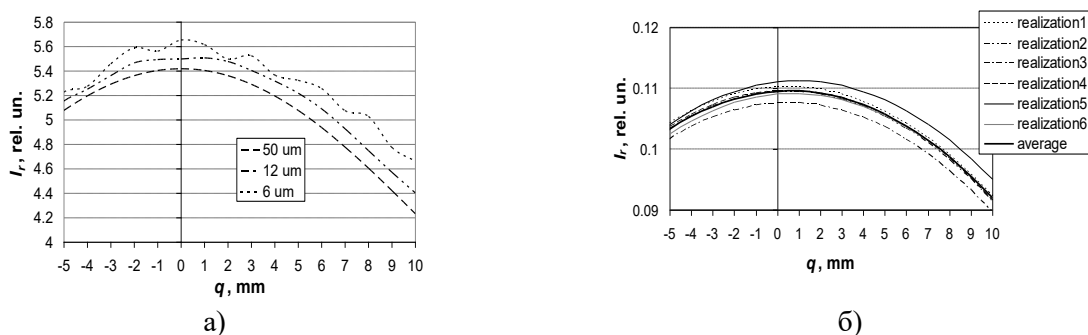


Рис. 2. Моделюваний сигнал оптичного сенсора: а) гомогенні оптично жорсткі сферичні частинки; б) випадково розподілені гетерогенні плямки розміру 0,1 мм, заповнені сферичними частинками діаметром 50 мкм

Також проведено експериментальні дослідження сигналу сенсора за допомогою імітаторів корозійних виразок на дисперсній металізованій поверхні (рис.3а). Імітатори виготовлено з металізованого картону, в якому зроблено випадково розміщені отвори діаметром 0,15 мм, заповнені червоними частинками міді з максимальним діаметром 50 мкм. Виготовлено 2 імітатори: №2 – з лічильною концентрацією “виразок”  $N = 94 \text{ см}^{-2}$  (коефіцієнт заповнення площі 0,017) і №3 – з концентрацією “виразок”  $N = 326 \text{ см}^{-2}$  (коефіцієнт заповнення площі 0,058). Результати вимірювань (одна випадкова реалізація) показано на рис.3б.

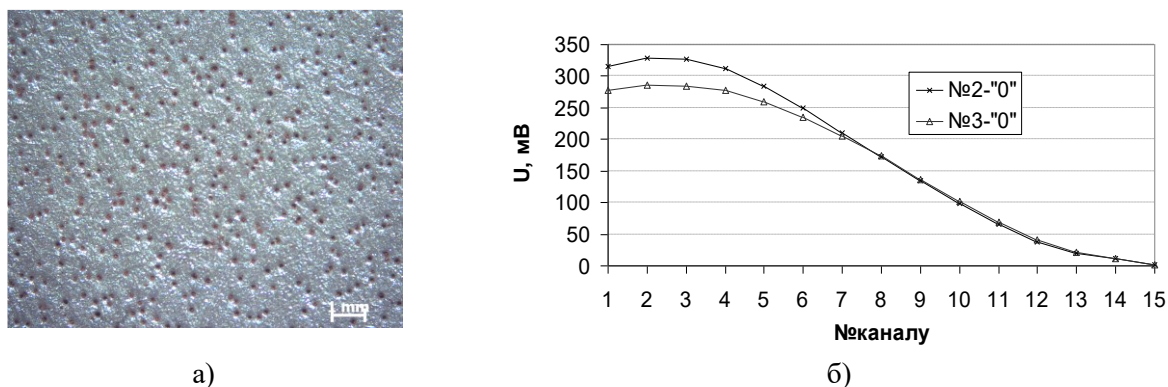


Рис. 3. Імітатор дисперсної металізованої поверхні з корозійними виразками (а) та сигнали сенсора ДВС для імітаторів №0, №2, №3 з відніманням сигналу “0”, отриманого від чистої робочої поверхні сенсора (б)

Як видно з рисунків 2б і 3б, модельований сигнал в якісному плані досить добре відтворює характер сигналу, отриманого експериментальним шляхом.

Список літературних джерел:

1. Джала Р.М., Івасів І. Б., Червінка Л.Є., Червінка О.О. Сенсор дифузного відбивання світла для раннього виявлення пошкоджень лакофарбових покриттів // Відбір і обробка інформації. – 2015. – Вип. 22 (118). – С.58-67.



**С.В. Романов; І.В. Сергєєв; Е.В. Опалько**

**ПАРАМЕТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ  
ТРУБОПРОВІДІВ ПЕРШОГО КОНТУРУ ЕНЕРГОБЛОКІВ З РЕАКТОРАМИ  
ВВЕР-1000**

Ключові слова: атомна енергетична установка, безпека, трубопровід, напружено-деформований стан, теча перед руйнуванням

Розрахункові обґрунтування безпеки атомних енергетичних установок (АЕУ), як правило, містять у своєму складі результати розрахунків на міцність елементів обладнання і трубопроводів. Від останніх дуже часто залежать як подальші розрахунково-аналітичні процедури, так і остаточні висновки щодо можливості безпечної експлуатації зазначених об'єктів. Характерним прикладом може служити впровадження концепції «теча перед руйнуванням» (ТПР) для трубопроводів першого контуру реакторів ВВЕР-1000.

Проектні рішення для АЕУ з реакторами ВВЕР мають забезпечувати здатність безпечної зупинки реактора у випадку настання подій, пов'язаних з розривом трубопроводів першого і другого контурів охолодження будь-якого перерізу, включаючи миттєвий розрив трубопроводу максимального діаметра. Такий підхід для трубопроводів головного циркуляційного контуру попередньо застосовувався при проектуванні захисної оболонки, для оцінки ефективності систем аварійного охолодження активної зони реактора, а також, для визначення доз опромінення. Гіпотетична подія постульованого гільйотинного розриву з двохстороннім вибоком теплоносія для систем трубопроводів з високим запасом енергії в подальшому була розповсюджена для забезпечення захисту від власних динамічних впливів на всі конструкції, системи і елементи, важливі для безпеки. Технічними рішеннями, спрямованими на досягнення цілей безпеки, передбачено фізичне рознесення обладнання від постульованих місць розриву, а також опори-обмежувачі хлистання трубопроводу внаслідок його розриву і захисні екрани від впливу реактивних сил, коли фізичне рознесення є неможливим.

У той же час, наявний досвід експлуатації і розрахунково-експериментальні дослідження свідчать (див., наприклад, [1]-[6]), що для трубопроводів зі значною накопиченою енергією, виготовлених з в'язких сталей, що мають високий опір нестабільному розвитку тріщин, імовірність гіпотетичного гільйотинного руйнування надзвичайно мала, навіть при важких аварійних навантаженнях. Миттєвому катастрофічному руйнуванню передують стійке докритичне зростання тріщини. Зазначена обставина дозволяє виявити тріщину під час періодичного експлуатаційного контролю задовго до того, як вона зросте до наскрізної, або виявити витік теплоносія з наскрізної тріщини апаратними засобами за достатній проміжок часу до набуття нею критичних розмірів. Як наслідок, стає можливим своєчасне виявлення дефектного перерізу труби, безпечна зупинка реактора і запровадження необхідних заходів для запобігання раптовому руйнуванню трубопроводу. Викладене вище становить суть концепції ТПР, яка полягає в тому, що довжина тріщини, яку можна надійно виявити, має бути гарантовано меншою, ніж довжина критичної тріщини, для якої є можливим нестабільне руйнування.

Основними нормативними документами, що регулюють питання впровадження концепції ТПР на енергоблоках атомних електростанцій (АЕС) України є документи [9]-[11]. Згідно з положеннями [10], [11] обґрунтування можливості застосування концепції ТПР до трубопроводів першого контуру реакторів ВВЕР вимагає виконання комплексної оцінки безпечної експлуатації трубопроводів шляхом застосування наступної методології:

- збір вихідних даних і аналіз технічної документації;
- побудова розрахункової моделі просторової системи трубопроводів і виконання розрахунково-аналітичної оцінки параметрів НДС з метою визначення критичних зон трубопроводів;
- визначення критичних розмірів наскрізних тріщин;
- розрахунок витрат теплоносія через наскрізні тріщини;
- розробка вимог до систем контролю течей теплоносія першого контуру.

Взаємозалежність зазначених вище розрахунково-аналітичних кроків вимагає аналізу можливих похибок, що можуть накопичуватися в процесі послідовного виконання розрахункових процедур згідно з вищезгаданим алгоритмом.

Центральне місце в методології впровадження концепції ТПР, очевидно, займають питання, пов'язані з аналізом поведінки і обґрунтуванням безпеки гіпотетичного тріщиноподібного дефекта. Відправною точкою при цьому є оцінка статичної міцності і сейсмостійкості трубопроводів, оскільки, на них базуються всі наступні розрахункові оцінки, зазначені вище.

На основі побудованої авторами розрахункової математичної моделі трубопроводів в програмному пакеті CAESAR II виконано параметричні розрахунки параметрів НДС в залежності від постульованих похибок завдання:

- довжини ділянок трубопроводів;
- діаметру трубопроводів;
- характеристик колін;
- трасування трубопроводів;
- характеристик опор.

Результати розрахунків свідчать про значну чутливість результатів розрахунків від вихідних даних, що стосуються виконання проектних умов закріплення трубопроводів, включаючи фактичні характеристики та технічний стан опорних конструкцій.

Список літературних джерел:

[1] IAEA-TECDOC-1361 Assessment and management of aging of major nuclear power plant components important to safety. Primary piping in PWRs. 2003.

[2] IAEA-TECDOC-710 Applicability of the leak before break concept. 1993.

[3] IAEA-TECDOC-774 Guidance for the application of the leak before break concept. 1994.

[4] European safety practice on the application of the Leak before break LBB concept. Nuclear Regulators working group Task Force on Leak Before Break. Final Report – January 2000. Directorate – General Environment. EUR 18549.

[5] NUREG/ CR-6765. Development of Technical basis for Leak-Before-Break Evaluation Procedures. Washington DC, May 2002.

[6] EUR 18549 European safety practice on the application of the Leak before break LBB concept. Nuclear Regulators working group Task Force on Leak Before Break. Final Report, 2000.

[7] А.Ф. Гетман. Концепция безопасности "течь перед разрушением" сосудов и трубопроводов давления АЭС. Москва. Энергоатомиздат 1999.

[8] С.В. Романов Аналіз точності визначення механічних напружень при впровадженні концепції «теча перед руйнуванням» на ядерних енергетичних установках з реакторами ВВЕР, «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», Міжнародний науково-технічний журнал, №3, 2016.

[9] НП 306.2.141-2008 Общие положения безопасности атомных станций.

[10] РК-Д 0.41.505-10 Руководство по применению концепции «течь перед разрушением» на АЭС.

[11] МТ-Т.0.03.208.10 Методика расчетов трубопроводов АЭУ в рамках концепции «течь перед разрушением». Введен в действие приказом ГП НАЭК «Энергоатом» №1087-р от 23.12.10.

Р.Н. Кветний, д.т.н., проф.; А.В. Олесенко, асп., асистент

## ВИКОРИСТАННЯ ЕНТРОПІЇ ЗОБРАЖЕННЯ В ЯКОСТІ КРИТЕРІЮ ВІДПОВІДНОСТІ АЛГОРИТМУ КОМПРЕСІЇ RLE

Ключові слова: зображення, піксель, кодування, дані, інформація, надлишковість, ентропія.

У наш час центральним поняттям цифрового кодування даних є поняття їх надлишковості. Стиснення зображень полягає у зменшенні обсягу даних, які використовуються для подання певної інформації. Але варто розуміти, що самі поняття дані й інформація не означають одне і те ж. За допомогою даних інформація передається, але водночас для представлення однієї й тієї ж кількості інформації можна використати різну кількість даних. Важливо розрізняти основні й другорядні елементи з метою ефективного використання робочого простору й пам'яті [1].

Методи стиснення зображень базуються на усуненні надлишковості. Так, виділяють методи стиснення без втрат й методи стиснення з втратами. Зокрема, якщо внаслідок декодування вдається відновити початкове зображення з 100-відсотковою точністю, мова йде про перші методи, інакше – про другі.

Статистична надлишковість сигналу виникає внаслідок сильних статистичних зв'язків між його сусідніми пікселями. На зображенні це проявляється тим, що сусідні пікселі мають дуже подібні яскравість й колірний тон. Різкі скачки цих параметрів спостерігаються лише коли є контури. Методи стиснення, які базуються на усуненні статистичної надлишковості, дозволяють повністю відновити зображення після декомпресії, й називаються ентропійними методами кодування.

За визначенням Шеннона ентропія встановлює середню кількість інформації на символ зображення (в даному випадку на піксель зображення). Для послідовності з  $m$  статистично незалежних символів, ймовірність появи яких складає  $p_i$ , ентропія розраховується наступним чином:

$$H = -\sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

де  $\log_2$  – двійковий логарифм,  $i$  – номер символу.

Якщо ймовірність появи деякого символу повідомлення дорівнює одиниці, а інших нулю (невизначеність появи даного символу відсутня), то відповідно й ентропія дорівнюватиме нулю. А у випадку, коли ймовірності появи усіх символів однакові

$$p_i = \frac{1}{m} \quad (2)$$

ентропія досягає свого максимального значення, що становить:

$$H_{\max} = -\sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \log_2 \frac{1}{m} \quad (3)$$

Порівнюючи знайдене значення ентропії з її максимальним значенням, можна визначити надлишковість сигналу:

$$R = 1 - \frac{H}{H_{\max}} \quad (4)$$

Якщо ймовірності появи усіх символів однакові, то надлишковість відсутня [2]. Алгоритм компресії RLE полягає у заміні ланцюжків пікселів парою значень (піксель, лічильник кількості) за рахунок чого ланцюжки великої кількості однакових пікселів замінюються коротшими значеннями. Звідси випливає, що найбільш підходящими для цього методу будуть ділянки одноманітного кольору, а ентропія такої ділянки зображення прямуватиме до нуля, оскільки кожен наступний піксель не вноситиме ніякої нової інформації. Таким чином, розраховуючи й аналізуючи значення ентропії для сегментів зображення, можна окремі сегменти стискати за алгоритмом RLE, що забезпечує швидку обробку даних й хороши коефіцієнт компресії.

Список літературних джерел:

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс ; пер. с англ. Л. И. Рубанова, П. А. Чочиа. – М: Техносфера, 2012. – 1104 с. – ISBN 978-5-94836-331-8.
2. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D- изображений / Н.Н. Красильников – Спб: БХВ-Петербург, 2011. – 608 с. – ISBN 978-5-9775-0700-4.

**А. В. Писарець, к.т.н., доц.; І. В. Коробко, д.т.н., проф.**

## **МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТУРБІННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИТРАТИ З ГІДРОДИНАМІЧНИМ ВРІВНОВАЖУВАННЯМ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТУ**

**Ключові слова:** математичне моделювання, витрата, первинний перетворювач витрати, турбінний перетворювач витрати, чутливий елемент, гідродинамічне врівноважування.

Актуальною проблемою сьогодення є підвищення точності вимірювання витрати рідин та газів. На сучасному етапі розвитку витратовимірювальної техніки це можливо шляхом розробки нових методів вимірювання або удосконаленням існуючих засобів вимірювання.

Завдяки високим метрологічним можливостям, у поєднанні з простотою та технологічністю конструкції, широкого застосування у різних галузях промисловості набули прилади з турбінними перетворювачами витрати (ТПВ).

Основними недоліками існуючих ТПВ є: швидке зношування опор, що зумовлено тертям; складність вимірювальних систем малих витрат; вплив зміни в'язкості вимірюваної рідини на роботу перетворювачів витрати та інші менш суттєві впливні чинники. Найбільш значущим тут постає тертя в опорах чутливого елемента (ЧЕ), що призводить до їх зношування, принципового погіршення метрологічних характеристик та виходу приладів з ладу.

Аналіз методів компенсації силової дії на опори чутливих елементів ТПВ рідин показав, що ефективними напрямками вдосконалення метрологічних характеристик ТПВ є розвантажування опор ЧЕ, або його гідродинамічне врівноважування [1].

Надпроблемою у цьому контексті постає побудова такої системи проектування ТПВ, яка б створила умови для комплексного розв'язання задачі створення досконалих сучасних вимірювальних систем із високими метрологічними показниками. В свою чергу, це передбачає побудову досконаліших розрахункових схем, які б описували взаємодію плинних потоків рідини з елементами вимірювальних перетворювачів, здійснення щораз точніших розрахунків з огляду на непросту динаміку обопільної дії вимірювальних потоків і перетворювача, особливості структури проєктованих елементів конструкції. Оскільки, перетворювачі взаємодіють з рідинним середовищем, для тестування їх метрологічних характеристик необхідно побудувати математичні моделі ТПВ, які б враховували параметри елементів конструкції приладу, вимірюваного плинного середовища та особливості їх взаємодії. Надзвичайно важливим постає питання дослідження неоднорідностей потоку, викликаних локальними гідравлічними опорами різної просторової конфігурації (коліна, конфузори, дифузори, раптові розширення та звуження мережі, тіла обтікання та інше, які породжують зміну градієнтів швидкості потоку і викликають вихроутворення), впливу забруднення та недоцільності обраного місця монтажу приладів на вимірювальній ділянці, вивчення характеру і ступеня зворотного впливу на контрольований потік елементної бази приладу через специфіку його конструкції, аналіз оберненої реакції приладу на параметри потоку і чисельна її оцінка.

У сучасній практиці створення вимірювальних приладів широкого застосування набуває математичне моделювання, яке посідає провідне місце серед інших методів досліджень, особливо завдяки наявності сучасних обчислювальних комплексів та систем.

Математичне моделювання роботи перетворювачів є відображенням фізичної суті процесів вимірювання із властивими їм особливостями та обмеженнями і встановлює зв'язок між двома об'єктами: реальною системою – перетворювачем (оригіналом) та її відтворенням – математичною моделлю.

Математичне моделювання роботи ТПВ дозволяє розв'язувати такі задачі: перевірка гіпотез про дію тих чи інших фізичних факторів на ефективність процесу вимірювання витрати; визначення метрологічних характеристик та впливу на них різних фізичних чинників; уточнення математичних моделей і розрахункових алгоритмів; визначення сприятливих технологічних режимів функціонування ТПВ та створення інженерних методів і розрахунків; оптимізація конструктивних параметрів ТПВ; постановка обчислювальних експериментів із візуалізацією процесів на екрані комп'ютера.

Метою дослідження було математичне обґрунтування роботи ТПВ із гідродинамічним врівноважуванням ЧЕ та здійснення імітаційного моделювання його функціонування направлених на виявлення впливних чинників.

Математичне моделювання роботи перетворювача витрати передбачає: вивчення принципу дії та конструктивних особливостей; побудову математичної моделі (визначення загального вигляду рівнянь, що описують роботу перетворювача, та їх кількості; визначення необхідних коефіцієнтів рівнянь); розробку алгоритму та програмного забезпечення реалізації математичної моделі; побудову математичної моделі метрологічних характеристик; розробку програмного забезпечення для дослідження метрологічних характеристик; експериментальні дослідження; перевірку адекватності результатів математичного моделювання експериментальним даним; оптимізацію конструктивних параметрів.

Авторами розроблено математичну модель ТПВ з гідродинамічним врівноважуванням ЧЕ шляхом створення нерівномірного розподілу статичного тиску вздовж вісі вимірювального перетворювача на основі наявних особливостей розподілу швидкостей вимірюваного середовища у кільцевому каналі.

Основними задачами математичного моделювання ТПВ є: розробка математичної моделі засобу вимірювання, з врахуванням чинників, які обумовлюють процес взаємодії потоку вимірюваного середовища із ЧЕ перетворювачів, та формують функціональну залежність вихідної інформації від величини витрати рідини; проведення на основі розроблених моделей досліджень витрато-вимірювачів; аналіз гідродинамічних характеристик потоку, що формується всередині вимірювального каналу перетворювача витрати, на підґрунті отриманих результатів моделювання; вдосконалення розуміння взаємодії потоку рідини із ЧЕ приладу за різного характеру розподілу швидкостей; оптимізація, за визначеними показниками, параметрів витратомірів конструкції з метою синтезу приладів із досконалими метрологічними характеристиками у розширеному діапазоні вимірювання.

Розроблена модель представляє собою систему диференціальних рівнянь обертального руху ЧЕ ТПВ та його поступального повздовжнього переміщення. Розв'язок системи існує за умов повного гідродинамічного врівноважування ЧЕ, що визначаються рівністю нулю рівнодіючої усіх сил, прикладених до нього у широкому діапазоні режимів роботи перетворювача [2]. Створена модель дозволила аналітично описати повздовжнє переміщення ЧЕ у широкому діапазоні зміни витрати [3].

Ефект врівноважування ЧЕ підтверджено результатами моделювання роботи ТПВ із застосуванням *CFD-технологій* (Computational Fluid Dynamics) за найменшої, номінальної та максимальної витрат [4]. При моделюванні отримано розподіл тиску вздовж гідравлічного каналу, де зони підвищеного тиску, розташовані перед ЧЕ і за ним, не дозволяють ЧЕ зміщуватися вперед під впливом набігаючого потоку, а утримують його у врівноваженому стані; визначено, що сили, діючі у площинах перед ЧЕ і за ним, практично рівні між собою, тобто рівновага ЧЕ завдяки даній конструкції зберігається; отримано картини розподілу швидкостей у ТПВ [5].

Сформульовані принципи побудови турбінних перетворювачів витрати рідиннофазних потоків для технологічних мереж на основі створеної математичної моделі і сучасних інформаційних технологій, одержані результати досліджень дозволяють обрати ефективні шляхи вирішення задач оптимізації роботи витратомірів і лічильників в експлуатаційних умовах.

Список літературних джерел

1. Коробко І. В. Методи компенсації силової дії на опори чутливих елементів турбінних перетворювачів витрати рідин / І. В. Коробко, А. В. Писарець // Вісник НТУУ КПІ. Серія приладобудування. – 2011. – Вип. 42. – С. 5 – 13.
2. Писарець А. В. Підвищення метрологічних характеристик швидкісних перетворювачів витрати рідин аксіального типу / А. В. Писарець // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – Вип. 44. – 2012. – С. 98 – 105.
3. Писарець А. В. Определение осевого перемещения чувствительного элемента турбинных преобразователей расхода с уравновешенным ротором / А. В. Писарець, И. В. Коробко // Системи обробки інформації. – 2011. – № 6 (96). – С. 150 – 154.
4. Системи CAD/CAE. ANSYS FLUENT [Текст]: навч. посіб. / І. А. Гришанова, І. В. Коробко. – К.: «ДІА ЛТД», 2012. – 208 с.
5. Гришанова І. А. Комп'ютерне моделювання турбінних витратомірів / І. А. Гришанова // Пр.Тавр.держ. агротехнол.ун-ту. – 2009. – Вип.4.т.45. – С.103 – 111.

**Г.М. Тріщ, докторант; О.М. Черняк, аспірантка**

## **МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ РОБОЧОГО ОДЯГУ**

**Ключові слова:** чисельне моделювання, іонізуюче випромінювання, іонізуючі речовини, знезаражування робочого одягу, гамма-випромінювання.

Розрахунок потужності й інтенсивності іонізуючих випромінювань, які застосовуються в різних технологіях, вимагає проведення великої кількості експериментів. Значно скоротити цей обсяг роботи і часу дозволяє використання чисельного моделювання. Використання методів чисельного моделювання широко використовується для розрахунку технологічних параметрів різних процесів. Особливо активно ці методи застосовуються в галузі моделювання проходження іонізуючого випромінювання через речовину. Іонізуючі речовини використовуються у контрольно-вимірвальній апаратурі, медицині, сільському господарстві, цивільній авіації та ін.

Такий спектр застосування обумовлено: зростанням обчислювальної потужності комп'ютерної техніки і розвитком програмного забезпечення. Існують ситуації, коли неможливо виміряти фізичні величини, що відносяться до іонізуючого випромінювання (наприклад, радіаційна обробка музейних експонатів, розрахунок еквівалентної поглиненої дози внутрішніх органів). У таких випадках чисельне моделювання доповнює дозиметричні вимірювання, дозволяє проводити велику кількість обчислювальних експериментів, що сприяє здешевленню і прискоренню розробки нових радіаційних технологій і матеріалів та ін.

Для захисту працівників, які виконують шкідливі, небезпечні та брудні види робіт, а також здійснюють роботи в особливих температурних умовах видається спецодяг. Спецодяг в процесі носіння потребує догляду, оскільки погіршення первинних захисних, гігієнічних і експлуатаційних властивостей спецодягу не забезпечують нормальні функції організму і здатність людини зберігати потрібну працездатність, сприяє виникненню, у робочих, шкірних, простудних та інших захворювань. Регулярний догляд за спецодягом сприяє поліпшенню санітарно-гігієнічних умов праці робітників і зниження захворюваності. Верхнім речам на виробництвах, де відбувається забруднення, необхідна періодична очистка. Основним, доступним і ефективним способом очищення спецодягу вважається прання. Однак прання викликає зношеність і усадку тканин, крім того, для деяких широко використовуваних видів спецодягу (ватні, бавовняні утеплювачі) прання взагалі неприйнятне, так як погіршує якість спецодягу.

Пропонуємо застосовувати чисельне моделювання для знезаражування робочого одягу, який важко прати (наприклад, верхній одяг, що містять бавовняний утеплювач). Спосіб знезаражування, заснований на застосуванні іонізуючого випромінювання. Сутність способу полягає в тому, що одяг піддається обробці одним з видів іонізуючого випромінювання: гамма-випромінювання, прискорені електрони.

В якості програмного забезпечення, що реалізує моделювання проходження іонізуючого випромінювання був обраний програмний комплекс GEANT4 [1,2]. Обґрунтування вибору даного програмного комплексу було розглянуто в [3], де було проведено порівняння з іншими пакетами, що дозволяють моделювати проходження іонізуючого випромінювання через речовину методом Монте-Карло. На прикладі чисельного моделювання гамма-променів виконаних GEANT4-збіжність результатів моделювання та дозиметричних вимірювань склав 88-90%.

Список літературних джерел:

1. Agostinelli S. GEANT4 – a simulation toolkit / S. Agostinelli, J. Allison, K. Amako, J. Apostolakis, H. Araujo, P. Arce, M. Asai, D. Axen, S. Banerjee, G. Barrant, et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2003. – 506(3). – P. 250-303. – doi:10.1016/S0168-9002(03)01368
2. Allison, J. GEANT4 developments and applications / J. Allison, K. Amako, J. Apostolakis, H. Araujo, P. A. Dubois, M. Asai, G. Barrant, R. Capra, S. Chauvie, R. Chytracsek, et al. // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2006. – 53(1). – P. 270-278. doi:10.1109/TNS.2006.869826.

**М.Ф. Ковальов, к.т.н., проф., Н.А. Зубрецька, д.т.н., проф., С.С. Федін, д.т.н., проф.**  
**МОДЕЛЮВАННЯ ГРАДУЮВАЛЬНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМІСТОРІВ**  
**НЕПАРАМЕТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ ОБРОБКИ ДАНИХ**

Градувальна характеристика, NTC-термістор, апроксимація, нейромережне моделювання, нечітка логіка, RBF-мережа

Однією із визначальних умов забезпечення єдності та точності вимірювань у термометрії є підвищення точності обробки вимірювальної інформації та нормування метрологічних характеристик первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків) температури. При визначенні метрологічних характеристик температурних датчиків у процесі калібрування актуальним завданням залишається забезпечення точності побудови їх градувальної характеристики (ГХ) в умовах нелінійності або неадекватності експериментальних даних, які зумовлюють збільшення похибки градування. Тому при побудові ГХ з нелінійним характером функції перетворення повинна враховуватись складова похибки апроксимації обчислювального алгоритму обробки даних, яка має бути несуттєвою в порівнянні з похибкою вимірювання.

Класичні методи побудови та підвищення точності побудови ГХ базуються на використанні схемотехнічних і структурно-алгоритмічних методів, а також різних параметричних методів апроксимації ГХ датчиків [1, 2]. Для вирішення задачі зменшення похибки апроксимації ГХ також використовують непараметричні методи інтелектуальної обробки вимірювальної інформації, до яких належить нейромережне моделювання [3, 4]. Проте прямошарові нейромережні моделі типу перцептрон, які є інваріантними до будь-якого виду нелінійності функції перетворення датчиків, застосовуються для апроксимації ГХ датчиків у вузькому діапазоні температур.

Для побудови нелінійних ГХ первинних вимірювальних перетворювачів температури на прикладі апроксимації  $R/T$ -характеристики напівпровідникових NTC-термісторів теоретично та експериментально обґрунтовано доцільність використання непараметричних методів нейромережного та нечіткого моделювання. Отримані результати нейромережного моделювання засновані на створенні та навчанні нейронних мереж (НМ) з одним прихованим шаром за вхідними  $T$  і вихідними  $R$  значеннями у семи рівних за довжиною піддіапазонах робочого діапазону температур з використанням алгоритмів зворотного поширення помилки (Back Propagation of Error) і Resilient Propagation, які реалізовано в системах моделювання BrainMaker Professional 3.52 і Deductor Academic 5.3. Для побудованих моделей НМ з архітектурою 1-10-1 використовували сигмоїдну функцію активації, значення якої монотонно змінюються від 0 до 1. Статистичний аналіз результатів нейромережного моделювання з використанням критеріїв  $MSE$  і  $MPE$  показав, що найкращу апроксимацію  $R/T$ -характеристики у робочому діапазоні температур NTC-термістора отримано для нейромережних моделей з використанням алгоритму навчання Back Propagation of Error. При цьому отриманий результат апроксимації з використанням моделі RBF-мережі на прикладі термістора TDK B57703M показує більшу точність у порівнянні з перцептронами у робочому діапазоні температур без його поділу на піддіапазони [5].

За результатами досліджень встановлено, що використання моделей на основі нечіткої логіки, розроблених у системі CubiCalc 2.0 із сформованою базою нечітких продукційних правил, дозволяє отримати більш точну апроксимацію  $R/T$ -характеристики NTC-термістора в порівнянні з поліноміальною моделлю Стейнхарта-Харта, що підтверджується статистично значущою відмінністю середньоквадратичної похибки апроксимації  $MSE$  [6].

Результати дослідження властивостей нейромережних моделей дозволили зробити припущення про підвищення точності побудови ГХ на основі застосування прямошарових НМ із радіально-базисними функціями (RBF), які дозволяють експоненційно зменшувати локалізовані нелінійності при апроксимації складних залежностей та забезпечують рівномірну апроксимацію будь-якої неперервної функції на компактній множині значень. Для вирішення завдання перетворення з заданою точністю та забезпечення точності побудови індивідуальних ГХ NTC-термісторів TDK B57861S виконували моделювання всіх можливих варіантів архітектур RBF-мереж з урахуванням максимальної кількості нейронів прихованого шару 926 (рис. 1).

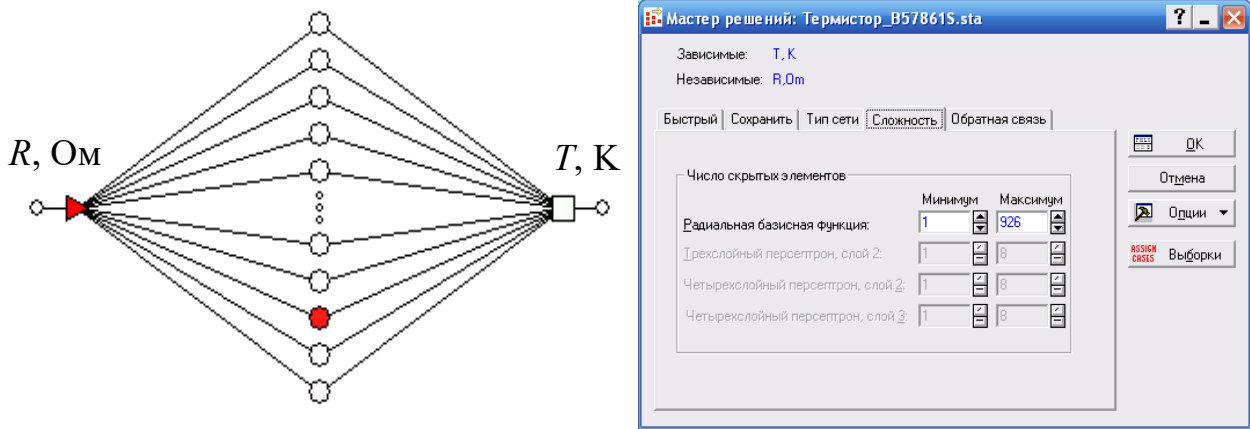


Рис. 1. Загальний вид архітектури RBF-мереж і діапазон нейронів прихованого шару

Результати побудови градуювальних характеристик NTC-термісторів у робочому діапазоні температур з використанням моделей RBF-мереж дозволили отримати максимальну абсолютну похибку перетворення значень опору в температуру  $\Delta_{RBF}=0,027\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Це свідчить про зменшення похибки апроксимації градуювальної характеристики NTC-термісторів не менше ніж у 1,5 рази у порівнянні з допустимою похибкою математичного перетворення  $\Delta=0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ , яка відповідає класичній поліномальній моделі третього порядку, що використовується в програмному забезпеченні сучасних систем збору та обробки вимірювальної інформації [5].

На основі комплексних експериментальних досліджень розроблено та апробовано на практиці методику нейромережної обробки вимірювальної інформації за величинами електричного опору та температури для побудови ГХ NTC-термісторів. Експериментальні дослідження проведено з використанням інформаційно-вимірювальної системи Agilent 34970A і програмного забезпечення BenchLink Data Logger 3, обчислювальні експерименти виконано в системах: математичного моделювання MathCAD 15; нейромережного моделювання BrainMaker Professional 3.52 і Deductor Academic 5.3; статистичного аналізу даних STATISTICA 6.1; нечіткого логічного моделювання CubiCalc 2.0.

Обґрунтовано використання RBF-мереж при тестуванні програмного забезпечення систем збору та обробки вимірювальної інформації та автоматизації процедури періодичного калібрування NTC-термісторів.

### Список використаної літератури

1. Семенов Л. А., Сирая Т. Н. Методы построения градуировочных характеристик средств измерения. М.: Изд-во стандартов, 1986. 128 с.
2. John S. Steinhart, Stanley R. Hart, Calibration curves for thermistors, Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts, Vol. 15, Issue 4, August 1968, P. 497–503.
3. Запорожец О. В., Овчарова Т. А., Руженцев И. В. Компенсация нелинейности полупроводникового терморезистора с помощью искусственной нейронной сети // Системи обробки інформації. № 6(131). 2015. С. 64–67.
4. Хробостов Д. А. Разработка нейросетевых методов построения градуировочных характеристик сенсоров и сенсорных систем: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. М., 2001. 191 с.
5. Федин С. С., Зубрецькая И. С. Нейросетевая аппроксимация градуировочных характеристик NTC-термисторов: монография. К.: Интерсервис, 2017. 196 с.
6. Зубрецькая И.С., Федин С.С., Лагода О.А. Градуировка NTC-термистора методом нечеткого моделирования  $R/T$ -характеристики // Вісник КНУТД. К.:КНУТД, 2015. № 5(90). С. 197–202.



С.М. Цирульник, к.т.н., доц., А. О. Метелиця, В. М.Ткачук

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГУСТИНИ ПОТОКУ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИМЕТРИЧНОГО ВІБРАТОРА В БЛИЖНІЙ ЗОНІ**

**Ключові слова:** симетричний вібратор, електрична складова поля, магнітна складова поля, спрямований випромінювач, коефіцієнт фази, довжина хвилі, густина потоку потужності, діаграма спрямованості.

У роботах Крушевського Ю. В. [1-3] було визначено співвідношення, які дозволили оцінювати спрямованість симетричних дротяних тонких вібраторів у ближній та проміжній зонах їх полів.

Для цього розмістили тонкий симетричний вібратор довжиною  $2l$  у сферичній системі координат так, як показано на рис. 1 і визначили електричну і магнітну складову поля [2].

$$\dot{E}_\theta = \frac{I_0 \cdot r \cdot \sin \theta}{j \cdot 4\pi \cdot \omega \cdot \varepsilon_a \cdot \sin kl} \cdot \left[ \int_0^l \frac{1 + jkr_1 - k^2 \cdot r_1^2}{r_1^4} \cdot \sin k(l-z) \cdot e^{-jkr_1} dz + \int_{-l}^0 \frac{1 + jkr_2 - k^2 r_2^2}{r_2^4} \cdot \sin k(l-z) \cdot e^{-jkr_2} dz \right], \quad (1)$$

де  $r$  – відстань від випромінювача до зазначеної точки;

$\varepsilon_a = \varepsilon_0 \varepsilon$  – абсолютна діелектрична проникність середовища, яке оточує випромінювач;

$k = 2\pi / \lambda$  – коефіцієнт фази випромінюваної вібратором електро-магнітної хвилі,  $\lambda$  – довжина цієї хвилі.

$$\dot{E}_r = \frac{I_0}{j \cdot 2\pi \cdot \omega \cdot \varepsilon_a \cdot \sin kl} \cdot \left[ \int_0^l \frac{1 + jkr_1}{r_1^4} \sin k(l-z) \cdot e^{-jkr_1} \cdot \sqrt{r_1^2 - r^2 \sin^2 \theta} dz + \int_{-l}^0 \frac{1 + jkr_2}{r_2^4} \cdot \sin k(l+z) \cdot e^{-jkr_2} \cdot \sqrt{r_2^2 - r^2 \sin^2 \theta} dz \right], \quad (2)$$

$$\dot{H}_\varphi = \frac{I_0 \cdot r \cdot \sin \theta}{4\pi \cdot \sin kl} \cdot \left[ \int_0^l \frac{1 + jkr_1}{r_1^3} \cdot \sin k(l-z) \cdot r \cdot e^{-jkr_1} dz + \int_{-l}^0 \frac{1 + jkr_2}{r_2^3} \cdot \sin k(l-z) \cdot e^{-jkr_2} dz \right]. \quad (3)$$

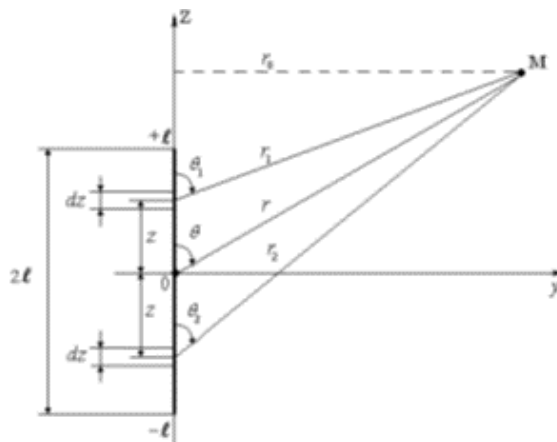


Рис. 1 – Ілюстрація до спрямованості вібратора в ближній зоні

Відомо [1], що при роботі напівхвильового та хвильового симетричного вібратора у ближній зоні утворюються два потоки потужності електричного поля. Один з них визначається вектором густини цього потоку, спрямованого радіально від вібратора ( $\bar{\Pi}_r$ ) і знаходиться за формулою:

$$\bar{\Pi}_r = [\bar{E}_\theta \bar{H}_\varphi]. \quad (4)$$

Другий потік потужності електричного поля спрямований по дотичній до меридіанної координатної лінії сферичної системи координат ( $\bar{\Pi}_\theta$ ) і знаходиться за формулою:

$$\bar{\Pi}_\theta = [\bar{E}_r \bar{H}_\varphi]. \quad (5)$$

У дальній зоні меридіальним потоком потужності у порівнянні з радіальним можна знехтувати через дуже мале значення складової поля  $E_r \ll E_\theta$ .

Для визначення величини радіального потоку потужності використаємо вираз (5), а значення складової  $H_\varphi$  отримаємо переписавши вираз (3) для умов дальньої зони:

$$\dot{H}_\varphi = j \frac{I_0 \sin \theta \cdot k \cdot e^{-jkr}}{4\pi \cdot \sin kl \cdot r} \left[ \int_0^l \sin k(l-z) dz + \int_{-l}^0 \sin k(l+z) dz \right] \quad (6)$$

Оцінювання величини радіального потоку потужності будемо знаходити за значенням потоку потужності за період гармонічної електромагнітної хвилі

$$\bar{\Pi}_{сеп} = \bar{r}_0 \frac{1}{2} R_e \left[ \dot{E}_\theta \bar{H}^* \right], \quad (7)$$

де

$$\bar{H}^* = \bar{\varphi}_0 j \frac{I_0 \cdot k \cdot \sin \theta \cdot e^{jkr}}{4\pi \sin kl \cdot r} \cdot \left[ \int_0^l \sin k(l-z) dz + \int_{-l}^0 \sin k(l+z) dz \right]. \quad (8)$$

Таким чином

$$\bar{\Pi}_{сеп} = \bar{r}_0 \frac{1}{2} R_e \left[ \dot{E}_\theta \cdot \bar{H}_\varphi^* \right]. \quad (9)$$

Або

$$\Pi_{сеп} = \frac{1}{2} R_e \left\{ \dot{E}_\theta \bar{H}_\varphi^* \right\}. \quad (10)$$

Після підстановки значень  $\dot{E}_\theta$  з виразу (1) та  $\bar{H}_\varphi^*$  з виразу (8) у вираз (10), отримаємо

$$\Pi_{сеп} = \frac{I_0^2 \cdot k^3 \cdot \sin^2 \theta \cdot e^{jkr}}{32\pi^2 \sin^2 kl \cdot r^2 \cdot \xi_a} \left[ \int_0^l \sin k(l-z) dz + \int_{-l}^0 \sin k(l+z) dz \right]^2. \quad (11)$$

Отримана математична модель значення густини потоку потужності хвильового симетричного вібратора у ближній зоні дозволяє дослідити властивості електромагнітного поля, що дає можливість оцінити вплив мобільного зв'язку на людський організм.

#### Список літературних джерел

1. Крушевський Ю. В. Дослідження структури поля і спрямованості електричного елементарного випромінювача в ближній і проміжній зонах / Ю. В. Крушевський, Ю. І. Кравцов, В. В. Чернига // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – № 2. – Режим доступу до журналу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/1230/544>.

2. Крушевський Ю. В. Структура електромагнітних потоків елементарного електричного випромінювача в ближній і проміжній зонах / Ю. В. Крушевський, О. М. Салямон // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – №3 – Режим доступу до журналу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/1214/497>.

3. Крушевський Ю. В. Вплив електромагнітного випромінювання пристроїв стільникового зв'язку на людину/ Ю. В. Крушевський, Ю. І. Кравцов, Я. О. Бородай // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – № 1. – Режим доступу до журналу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/1230>

**СЕКЦІЯ 4 (SECTION 4)**  
**Інформаційно-вимірювальні системи, біотехнічні**  
**та медичні прилади і системи**

Н.О. Пунченко, к.т.н.

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ АНАЛІТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АДАПТИВНИХ ІНФОРМАЦІЙНО – ВИМІРЮВАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Ключові слова:** адаптивні інформаційно – вимірювальні навігаційні систем, навігаційні параметри, точність вимірювань навігаційного параметра, оперативність, імовірнісні показники, система управління рухом судна, надійність - безвідмовність, параметричні показники

Ефективність функціонування рухомих морських об'єктів визначається рядом факторів, серед яких важливу роль відіграє здатність їх інформаційно - вимірювальних навігаційних систем (ІВНС) виконати покладену на них цільову функцію. Функціонування більшості рухомих об'єктів, що містять інформаційно – вимірювальні навігаційні системи, відбувається, як правило, під дією дестабілізуючих факторів, що мають апіорно невизначений характер. Одним із способів протидії цим факторам при проведенні вимірювань навігаційних параметрів в процесі експлуатації рухомих об'єктів є використання адаптивних інформаційно – вимірювальних навігаційних систем [1].

Однією з найважливіших функціональних характеристик адаптивних інформаційно – вимірювальних навігаційних систем є точність, яка характеризує близькість отриманих системою значень вимірюваних навігаційних параметрів до їх істинним значенням. Як показник при оцінюванні точності вимірювань навігаційного параметра може виступати ймовірність того, що похибка результату вимірювань в момент часу не перевищує заданого значення похибки, що відповідає, як правило, нормальним законом розподілу.

Для оцінювання точності результатів навігаційних вимірювань, що містять випадкові і систематичні похибки, може бути використаний також підхід, заснований на концепції «невизначеності вимірювань» [2]. Поряд з точністю, однією з найважливіших характеристик, що входять до переліку функціональних характеристик систем, є оперативність. Оперативність (або швидкодія) характеризує здатність системи формувати і передавати в систему управління рухом судна шукані параметри протягом заданого інтервалу часу. Показниками оперативності є швидкість (частота) вимірювань, часовий інтервал від моменту надходження команди (запиту) на проведення вимірювань до моменту видачі в систему управління рухом судна вектора. Реальні показники можуть відрізнятися.

У зв'язку з існуванням при експлуатації ІВНС ряду природних і спеціально організованих факторів, що обурюють, які носять випадковий характер, для кількісного оцінювання оперативності системи доцільно застосовувати імовірнісні показники, як, наприклад, ймовірність того, що затримка часу проведення вимірювання навігаційного параметра. Поява затримки при функціонуванні адаптивної системи обумовлено, як правило, необхідністю проведення деякої сукупності послідовно виконуваних операцій, в тому числі операцій, пов'язаних з аналізом умов експлуатації рухомого об'єкту. У момент надходження на вхід системи запиту на проведення вимірювань з заданими показниками точності і швидкодії система повинна бути в стані готовності до виконання своїх функцій. Однак в цей момент часу адаптивна система може перебувати в режимі перебудови своєї структури, викликаній, наприклад, протидією обурює фактора, в планових режимах еталонірованія або калібрування, а також в режимі відновлення працездатного стану, зумовленого відмовою, або профілактичного технічного обслуговування. У зв'язку з цим реакція адаптивної системи на отриманий запит може мати деяке запізнювання. Тому до складу функціональних характеристик доцільно ввести характеристику готовності. Під готовністю розуміється здатність системи до виконання заданих функцій протягом заданого інтервалу часу. Показником готовності при цьому може застосовуватися, наприклад, ймовірність того, що система здатна проводити вимірювання після надходження відповідного запиту. Значення цієї ймовірності залежить від режимів, в яких експлуатується адаптивна система.

Наприклад, система, яка має два експлуатаційних режиму - застосування за призначенням і відновлення працездатного стану, показник готовності при експоненційному законі розподілу часу відмов та відновлень розраховується з урахуванням інтенсивності відмов і інтенсивності відновлення. А також ці показники можуть застосовуватися при необхідності оцінювання готовності адаптивної системи до проведення вимірювань при впливі фактора і наступною реакцією системи, спрямованої на пристосування до експлуатації в нових умовах. При цьому

закони розподілу часу появи дестабілізуючого чинника і часу, необхідного для адаптації системи до цього фактору, повинні підкорятися експоненціального розподілу з відповідними інтенсивностями появи дестабілізуючого чинника і проведення адаптації.

Створення адаптивних систем пов'язане з необхідністю ускладнення її структури і алгоритмів функціонування, що тягне за собою, як правило, зниження надійності системи. Тому до найважливіших функціональних характеристик адаптивних систем відноситься надійність. Для більшості систем головна увага при цьому приділяється одній з характеристик надійності - безотказності, тобто здатності системи безупинно зберігати працездатний стан протягом деякого часу або напрацювання [3].

Аналіз показників безвідмовності показав, що при вирішенні ряду практичних завдань, наприклад, завдання визначення ефективності адаптивних систем[4], в якості показника безвідмовності доцільно застосовувати ймовірність безвідмовної роботи. Часто ймовірність, є умовною ймовірністю, оскільки вона розраховується за умови, що характеристики зовнішніх факторів, що впливають на систему, знаходяться в заданих межах. Для оцінки здатності проводити навігаційні вимірювання в умовах, які відрізняються від заданих умов, використовуються характеристика стійкості. Ця характеристика відрізняється від надійності, оскільки вона проявляється при виникненні зовнішніх впливають дестабілізуючих факторів. Таким чином, стійкістю ІВНС називається здатність системи виконувати свої функції під час і після впливу дестабілізуючого чинника, тобто здатність системи до захисту від несприятливих впливів. При цьому в залежності від виду фактора стійкість може виражатися, наприклад, наступними характеристиками: ударостійкість і вибропрочність; стійкість до впливу зовнішнього магнітного поля і стійкість до впливу важких заряджених частинок. Показники стійкості мають параметричний і ймовірнісний вигляд.

Параметричний показник стійкості ІВНС є такий рівень фактора, при якому значення функціональних характеристик системи із заданою вірогідністю знаходяться в встановлених межах.

Ймовірнісний показник стійкості задає ймовірність збереження всіх функціональних характеристик системи в заданих межах при встановлених рівнях факторів, що впливають.

Параметричні показники знаходять застосування при випробуваннях систем на стійкість, а ймовірнісні показники - при вирішенні ряду теоретичних і прикладних задач.

Запропоновані показники можуть застосовуватися при вирішенні ряду прикладних задач, присвячених дослідженням ефективності використання адаптивних інформаційно-вимірювальних систем при побудові математичної моделі контуру адаптації, оцінки рівня достовірності його функціонування або здатності до виконання цільових функцій. Ці властивості дозволяють оцінювати ймовірності видачі споживачеві результатів вимірювань адаптивної ІВНС з заданими функціональними характеристиками в умовах впливу дестабілізуючих факторів.

#### **Список літературних джерел:**

1. Голяков А.Д., Фоминов И.В. Анализ влияния надежности и стойкости адаптивных информационно-измерительных навигационных систем на эффективность их использования / А.Д.Голяков, И.В. Фоминов // Навигация и гидрография. –СПб.,2013. –№36. –С.9–16.

2. Мокров Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация / Ю.В. Мокров // Дубна: Международный университет природы, общества и человека, 2007. –132с.

3. Антонов Ю.В., Белов В.П., Голяков А.Д. и др. Надёжность и безопасность информационно-управляющих систем. Методы оценивания и контроля / Ю.В.Антонов, В.П.Белов, А.Д. Голяков и др. // СПб.: НИИ ТМ, 2004. –326с.

4. Голяков А.Д., Фоминов В.И. Методика оценки эффективности использования адаптивных информационно-измерительных навигационных систем / А.Д.Голяков, И.В. Фоминов // Навигация и гидрография. –2013. –№35. –С.24–29.

## АДАПТИВНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ВЕРСТАТАХ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ

**Ключові слова:** вимірювальна головка, адаптивна система, метод контролю, засоби вимірювання.

Важливою задачею в машинобудуванні при виготовленні корпусних і профільних деталей високої точності є необхідність їх контролю на всіх етапах виробництва. Це зумовлює розробку та створення високоточних вимірювальних пристроїв заснованих на принципово нових методах, зокрема із застосуванням вимірювальних головок. Їх створення вимагає підготовки метрологічного забезпечення та атестації методики виконання вимірювання, що дозволяють контролювати профіль поверхні з необхідною точністю та достовірністю.

### Постановка задачі

Провести аналіз джерел похибки автоматизації вимірювань лінійних розмірів корпусних деталей при їх виготовленні на верстатах з ЧПК.

Розробити та дослідити адаптивну систему оперативної атестації вимірювальної головки і дати методику оцінки її параметрів на основі експериментальних даних.

Провести дослідження методів автоматизації і оперативності проведення атестації (контролю похибок) вимірювальної головки в цілях підвищення контролю геометричних розмірів прецизійних деталей та збільшення продуктивності верстатів з ЧПК в процесі механічної обробки

### Розв'язання поставленої задачі

Похибка координатних вимірювань  $\Delta_{вим}$  на верстаті залежить від способу позиціонування деталей, тобто від впливу систематичної похибки  $\theta_n$ . Похибка вимірювання залежить також від чистоти поверхні деталі, яка не повинна перевищувати  $Ra \leq 0,5 \text{ мкм}$  при остаточній обробці корпусної деталі [2].

Приведені результати впливу випадкових ( $\delta$ ) і систематичних ( $\theta$ ) похибок, які формують комплексну ( $\Delta$ ) похибку вимірювання. Показано, що похибка координатних вимірювань  $\Delta_{вим}$  деталі на верстаті не повинна перевищувати остаточній (чистовий) обробці  $\Delta_{обр}$ , які виконують на цьому ж верстаті, так, як система ЧПК верстата має зворотній зв'язок по розміру і представлена на запропонованій структурній схемі (рис.1).

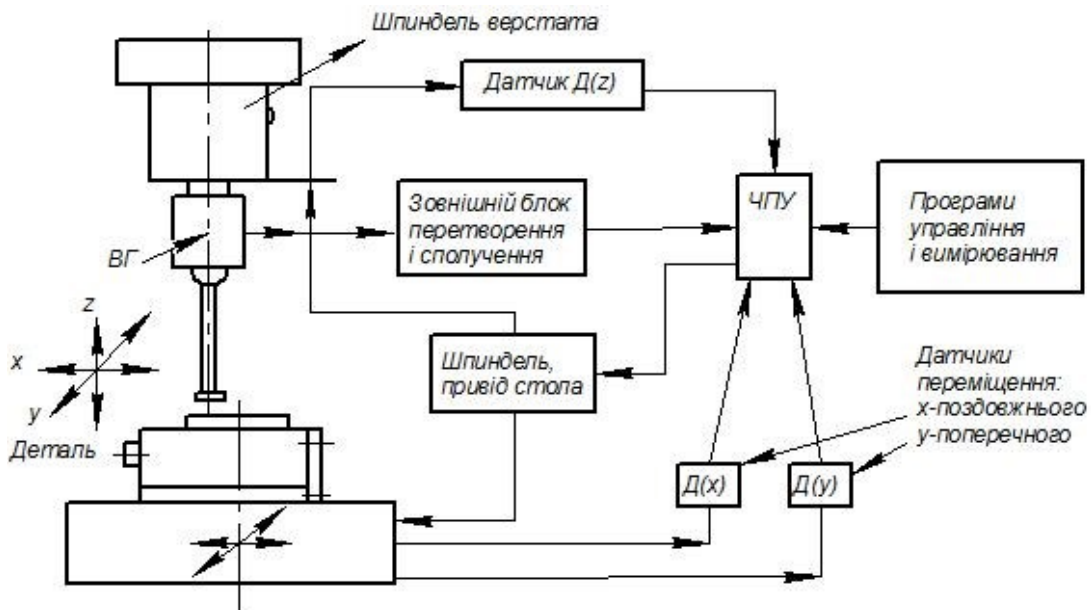


Рис.1. Структурна схема автоматичної системи контролю на верстаті

Проведемо аналіз похибки  $\Delta_{рн}$  розмірної настройки з метою виявлення домінуючих факторів, які впливають на похибку автоматичного вимірювання. Похибка  $\Delta_{рн}$  розмірної настройки

елементів станка є функція впливу сукупності похибок:  $\theta_{noz}$  позиціонування,  $\delta_{чпу}$  системи ЧПК верстата,  $\delta_{уст}$  установки деталі і інструменту[3].

З урахуванням складових похибок  $\Delta_{рн}$  поточна похибка  $\Delta_{nn}$  атестації відповідає похибці  $\Delta_{вим}$  вимірювання еталона на цьому же верстаті:

$$\Delta_{рн} = \Delta_{вим} = \Delta_{nn} \approx f(\theta_{noz}, \delta_{чпу}, \Delta_{ем}, \Delta_y) \quad (1)$$

В загальному випадку похибка  $\Delta_{вим}$  вимірювань, як і похибка  $\Delta_{nn}$  атестації на цьому же верстаті формується складовими похибками одного виду: приводу (позиціонування), датчиком і схем перетворення, наявністю зазорів і люфтів в направляючих, недотриманням принципу Аббе та іншими факторами [3-4].

Під час вимірювання контура деталі зі змінною поверхнею вектор швидкості стеження відхиляється від напрямку по дотичній, і в результаті дії нормальної складової утворюється похибка  $\Delta_c$ :

$$\Delta_c = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} - S_0 \quad (2)$$

де  $S_0$  –натяг вимірювальної головки.

В режимі вимірювання при куті нахилу контура  $\alpha = const$  :

$$v_N = 0 \text{ і } \frac{v_y}{v_x} = tg\alpha \quad (3)$$

$$\alpha = arctg \frac{\Delta_y}{\Delta_x} \quad (4)$$

$$\Delta_c = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} - S_0 \quad (5)$$

$$v_x = v_c \cos[\alpha + f(\Delta_c, t)] \quad (6)$$

$$v_y = v_c \sin[\alpha + f(\Delta_c, t)] \quad (7)$$

де  $f(\Delta_c, t)$  – вихідний сигнал регулятора системи вимірювання похибки.

Значення  $\cos \alpha$  і  $\sin \alpha$  вираховується по формулам:

$$\cos \alpha = \frac{|\Delta_y|}{\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}} \quad (8)$$

$$\sin \alpha = \frac{|\Delta_x|}{\sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}} \quad (9)$$

де  $\Delta_x$  і  $\Delta_y$  – координати збільшення на даному відрізку вимірювальної деталі.

### Висновки

Провели аналіз джерел похибки автоматизації вимірювань лінійних розмірів корпусних деталей при їх виготовленні на верстатах з ЧПК. Розробили та дослідили адаптивну систему оперативної атестації вимірювальної головки і дали методику оцінки її параметрів на основі експериментальних даних. Провели дослідження методів автоматизації і оперативності проведення атестації (контролю похибок) вимірювальної головки в цілях підвищення контролю геометричних розмірів прецизійних деталей та збільшення продуктивності верстатів з ЧПК в процесі механічної обробки.

### Список використаної літератури

1. Координатные измерительные машины и их применение / Гапшис А.А., Каспарайтис А.Ю., М.Б. Модестов, Раманаускас З.А., Серков Н.А., Чудов В.А. - М.: Машиностроение. - 1988. - 328 с.
2. Автоматизация координатных измерений. Учебное пособие. / Зубарев Ю. М., Косаревский С. В., Ревин Н. Н. — СПб.: Изд-во ПИМаш, 2011. — 160 с.
3. Харченко А.О. Станки с ЧПУ и оборудование гибких производственных систем: Учебное пособие для студентов вузов. - К.: ИД «Профессионал», 2004. - 304 с.
4. Р.И. Гжиров, П.П. Серебrenицкий. Программирование обработки на станках с ЧПУ. Справочник, - Л.: Машиностроение, 1990. - 592 с.



**В.Т. Дмитрів, д.т.н., доцент; П.П. Яцунський, аспірант**  
**ПНЕВМОЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ПУЛЬСОКОЛЕКТОР,**  
**ЯК ЕЛЕМЕНТ СИСТЕМИ АВТОМАТИКИ**

**Ключові слова:** доїльний апарат, електромагнітний пульсатор, якір, клапан, вакууметричний тиск, електромагніт.

У доїльному апараті механізмом, що визначає характер роботи дійкової гуми, є пульсатор - автоматичний перемикач вакууметричного й атмосферного тисків у міжстінкових камерах доїльного стакана. Він формує режими машинного доїння: число пульсацій, співвідношення тактів, динаміку процесів у міжстінковому просторі доїльного стакана й характер впливу дійкової гуми на дійки корови.

Для автоматичного адаптування вакуумного режиму доїльного апарата до умов доїння, забезпечення надійності конструкції й зручності експлуатації, зменшення енерговитрат вакуумної системи в цілому, застосовують пульсатори з електромагнітним керуванням.

Зазвичай, електромагнітні пульсатори є прямої дії, а зі зменшенням їх енергоспоживання використовуються додаткові камери керування, де встановлюється електромагнітний клапан. Алгоритм керування електромагнітними пульсаторами зумовлений особливістю програмного забезпечення і типом мікропроцесора.

Особливістю електромагнітного пульсатора доїльного апарата [1] є наявність двох однакових симетричних електромагнітних систем та розміщення якорів-клапанів у керуючих камерах з перепускними отворами відповідного діаметра, що дає змогу забезпечити керування мембраною в керованій камері, де привід клапанів здійснюється через штоки, якими рухається мембрана. Ще одним характерним пульсатором для автоматизованих доїльних апаратів є енергоощадний електромагнітний пульсатор попарної дії [2]. Особливість зазначеного пульсатора полягає в тому, що кожний якір-клапан виконаний у вигляді суцільного металевого циліндра з повздовжніми прорізами та із запресованими в торцях циліндричними гумовими клапанами, з яких по чергову один має змогу перекривати отвір, що сполучає керуючу камеру з атмосферою, а інший - калібрований отвір, що з'єднує камеру постійного вакууметричного тиску з керуючою камерою.

Відмінністю від всіх інших пульсаторів є електромагнітний пульсатор доїльного апарата [3], який безпосередньо розміщений на доїльному стакані і елементом, що задає час перехідного процесу, слугує плоска мембрана, яка функціонує на змінні зусилля залежно від величини прогину.

Wilhelm Hucksbrink запропонував своє розв'язання проблеми формування вакууметричних пульсацій за допомогою застосування керованого електромагнітного клапана [4]. Характерною особливістю електромагнітного клапана пульсатора є наявність головного та допоміжного клапанів. Подача тиску в міжстінкову камеру доїльного стакана забезпечується розташуванням головного клапана в кінчному сидлі. Допоміжний клапан, виготовлений у вигляді повзунка, який під'єднаний до відкритих каналів, що відповідають за фазу роботи електромагнітного клапана [3].

На основі аналізу функціональних схем пневмоелектромагнітних пульсаторів розроблено структурно-функціональну схему, що поєднує механічні, пневматичні та електричні ланки пульсатора (рис).

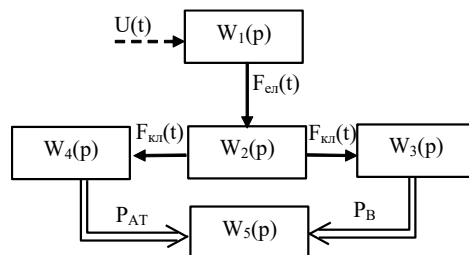


Рис. Структурно-функціональна схема пневмоелектромагнітного пульсатора в передавальних функціях: передавальні функції:  $W_1(p)$  – електромагнітного приводу,  $W_2(p)$  – клапанної системи,  $W_3(p)$  – камери вакууметричного тиску,  $W_4(p)$  – камери атмосферного тиску,  $W_5(p)$  – камери змінного вакууметричного тиску;  $U(t)$  – керуючий вхідний сигнал електромагніта;  $F_{ен}(t)$  – змінна

електромагнітна сила;  $F_{кл}(t)$  – зусилля перемикачання клапанної системи;  $P_{ат}$  – атмосферний тиск;  $P_{в}$  – вакуумметричний тиск

Передавальна функція електромагніту пульсатора як аперіодична ланка системи першого порядку описується рівнянням:

$$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}, \quad (1)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт передачі обмотки електромагніта,  $k_1 = 2k_0 I_k / R_0$ ;  $k_0$  – коефіцієнт пропорційності між силою електромагніта і керуючим струмом  $I_k$ ;  $I_k$  – керуюча сила струму, А;  $R_0$  – активний опір обмотки електромагніта, Ом;  $T_1$  – постійна часу електромагніта,  $T_1 = L_0 / R_0$ , с;  $L_0$  – індуктивність котушки, Гн.

Система клапанів є жорсткою системою. Тому зміна вихідної величини відносно вхідної буде залежати лише від площ клапанів, а отже і їх діаметрів. Це властиво пропорційній ланці, що описується передавальною функцією:

$$W_2(p) = k_2, \quad (2)$$

де  $k_2$  – коефіцієнт підсилення, що визначається із конструкційних розмірів клапана.

Камери пульсатора постійного атмосферного і вакуумметричного тисків є замкнутим простором, що має лише один вхідний отвір, через який здійснюється відкачування чи впускання повітря в камеру змінного вакуумметричного тиску. Такі типи камер в пневматиці виступають як аперіодичні ланки першого порядку з передавальною характеристикою :

$$W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}, \quad W_4(p) = \frac{k_4}{T_4 p + 1} \quad (3)$$

де  $k_3, k_4$  – коефіцієнт підсилення (для камери, що має лише один отвір становить 1);  $T_3, T_4$  – постійна часу керуючої камери,  $T_3(T_4) = V_k / (R_{г} \cdot g_{ом} \cdot \tau)$ ;  $V_k$  – об'єм камери, м<sup>3</sup>;  $R_{г}$  – універсальна газова стала, Дж/(моль·К);  $\tau$  – абсолютна температура повітря в камері, °К;  $g_{ом}$  – провідність каліброваного отвору,  $g_{ом} = Q_{ом} / (R_{г} \cdot \tau)$ , м<sup>2</sup>/с;  $Q_{ом}$  – витрата повітря через відповідні отвори, м<sup>3</sup>/с.

Перехідна характеристика ланки буде описуватись рівнянням:

$$h(t) = k_3 (1 - e^{-\frac{t}{T_3}}) \cdot 1(t).$$

Останньою у структурній схемі пульсатора є передавальна функція, що створюється об'ємами камери змінного вакуумметричного тиску, з'єднувальних вакуумних шлангів та міжстінкової камери доїльних стаканів. Ці камери доцільно розглядати як комплексну величину, оскільки зміна положення діркової гуми залежить від тиску в цих камерах. Якщо розглядати суму об'ємів перелічених камер як одну, об'єм якої буде рівний сумарному, то її передавальна функція буде така ж, як і для попередніх камер. Відповідною передавальною функцією буде:

$$W_5(p) = \frac{k_5}{T_5 p + 1}. \quad (4)$$

Враховуючи почергове послідовне з'єднання ланок, сумарна передавальна функція пневмоелектромагнітного пульсоколектора буде мати вигляд:

$$\text{для такту сання - } W_{cc}(p) = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_5}{T_1 \cdot T_3 \cdot T_5 \cdot p^3 + p^2 \cdot (T_1 \cdot T_3 + T_1 \cdot T_5 + T_3 \cdot T_5) + p \cdot (T_1 + T_3) + 1};$$

$$\text{для такту стиску - } W_{cm}(p) = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot k_5}{T_1 \cdot T_4 \cdot T_5 \cdot p^3 + p^2 \cdot (T_1 \cdot T_4 + T_1 \cdot T_5 + T_4 \cdot T_5) + p \cdot (T_1 + T_4) + 1};$$

#### Список літературних джерел

1. Патент на корисну модель № 34048, Україна МПК (2006) А01J5/007. Електромагнітний пульсатор попарної дії для доїльного апарата / Дмитрів В.Т., Ткачишин Р.С., Ткачишин О.Б., Дмитрів І.В.; заявник і патентовласник Дмитрів В.Т.; заявл. 25.02.2008; опубл. 25.07.2008, Бюл. №14.
2. Патент на винахід 89416, Україна, МПК А01J5/14 (2009.01). Електромагнітний пульсатор попарної дії / Дмитрів В. Т., Лаврик Ю. М., Дмитрів І. В., Банга В. І.; заявник та патентовласник Дмитрів В. Т. – № а200801847; заявл. 12.02.2008; опубл. 25.01.2010, Бюл. №2.
3. Патент на винахід 110586, Україна, МПК А01J5/14 (2006.01). Адаптивний пневмоелектромагнітний пульсатор / Адамчук В.В., Дмитрів І.В.; заявник та патентовласник Дмитрів І.В. - № а201413469; заявл. 15.12.2014; опубл. 12.01.2016, Бюл. №1.

В.М. Ванько, д.т.н., проф., Н.М. Клепач

## МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У МЕРЕЖАХ НА ПІДСТАВІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУМІВ РІЗНОМАНІТНОГО УСТАТКУВАННЯ

Ключові слова: якість, електроенергія, показник якості, струм споживання, вимірювання, гармоніки, вейвлет-перетворення.

Науково-технічний та соціально-економічний прогрес тісно пов'язаний з електрифікацією всіх сфер матеріального виробництва і індивідуального споживання товарів та послуг. Тому, надзвичайно важливо визначати і контролювати рівень якості електроенергії (ЕЕ) та функціональний стан енергооб'єктів і мереж.

Часто причиною погіршення якості ЕЕ є ввімкнення користувачами специфічних або недозволених технічних пристроїв. При цьому, коливання струмів, котрі протікають у будь-якій мережі, спричиняють спади напруги, що додаються до основної. Важливою проблемою для виправлення таких негативних ситуацій вважається потреба у пошуку та встановленні винуватця зпосеред численної низки споживачів ЕЕ. Для цього, на нашу думку, варто досліджувати фрагменти мережі з використанням спеціального вимірювального перетворювача, за допомогою якого записують криві струмів споживання у контрольованих ділянках мережі.

Застосовуючи спроектований нами вимірювач струму, проведено випробування великої кількості різноманітного устаткування. Отримана інформація зберігалась на комп'ютері, а потім опрацьовувалась програмною системою MATLAB за допомогою дискретного вейвлет-перетворення (ДВП) [1]. Як базова використовувалась функція Мейєра  $dmey$ , а кожна виборка струму споживання представляла собою сукупність цифрових кодів 1992 миттєвих значень тривалістю 7,5 періодів повторення. Спектр досліджуваних сигналів складав від 5,2 до 5355,2 Гц і розподілявся на певні частотні смуги.

В результаті розкладу дискретного сигналу струму споживання  $I_{cn}$  на  $(j+1)$ -у рівні ДВП отримуємо масиви коефіцієнтів апроксимації

$$a_{j+1,x} = (a_{j,n}, \varphi_{j+1,x}) = \sum_n \overline{g_n} \cdot a_{j,n+2x} \quad (1)$$

та деталізації

$$d_{j+1,x} = (a_{j,n}, \psi_{j+1,x}) = \sum_n \overline{h_n} \cdot a_{j,n+2x}, \quad (2)$$

причому  $g_n$  і  $h_n$  – коефіцієнти цифрових фільтрів, що реалізують задану базову функцію,  $x$  – параметр інтервалу контролю на кожному рівні перетворення досліджуваної функції та  $a_{j,n+2x}$  – інформація з попереднього  $j$ -го рівня ДВП.

З метою гарантування достовірності результатів ДВП було сформовано тестовий сигнал у вигляді синусоїди з частотою повторення, близькою до промислової. Наведено результати ДВП даного сигналу, що дозволило показати розміщення його енергії на 7 і 8 рівнях (всього використовувалось 10 рівнів ДВП). Ці дані надалі застосовувались для визначення діючого значення (ДЗ)  $I_{cn}$  та коефіцієнтів гармонічних складових сигналу на рівнях ДВП.

Наведено інформацію стосовно дослідження портативного обігрівача з вентилятором типу WIMDOM (Китай), побутового холодильника САРАТОВ моделі 1408, мікрохвильової печі ARDO типу AMW-17M та стаціонарного персонального комп'ютера. Особливими виявились результати останнього пристрою. Так частка промислової частоти складала  $I \cong I_{cn} = 0,61A$ , на 1-у рівні ДВП (2677,6...5355,2 Гц) отримано ДЗ  $I_1 = 0,37 A$ , на 5-у (167,4...334,7 Гц) – ДЗ  $I_5 = 0,49 A$  та на 6-у (83,7...167,4 Гц) –  $I_6 = ДЗ 0,53 A$ .

### Список літературних джерел:

1. Ванько В.М. Вимірювання показників повільних відхилень напруги мережі на основі дискретного wavelet-перетворення / В.М. Ванько, Н.М. Клепач // Відбір і обробка інформації. – №43 (119). 2016. – С. 58-62.

Т.З. Бубела, д.т.н., доц.; Є.В. Походило, д.т.н., проф.; Т. І. Федішин, студентка  
**АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПІДСИСТЕМИ ЗБОРУ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ КІБЕР-  
 ФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АГРОВИРОБНИЦТВА**

**Ключові слова** – кібер-фізична система, органічне виробництво, алгоритм збирання інформації.

На сучасному етапі кібер-фізичні системи (КФС) активно інтегруються у різні галузі народного господарства. Оскільки агровиробництво є пріоритетною галуззю економіки країни, то вдосконалення систем його моніторингу повинно здійснюватися шляхом впровадження інноваційних технологій на основі побудови кібер-фізичних систем [1]. Клієнтами - користувачами таких КФС можуть бути як виробники – аграрії, так і контролюючі організації, тобто органи з оцінки відповідності та органи державної влади. Для кожного з них КФС мала би вирішувати свої задачі, а саме: контроль виробництва агропродукції (з врахуванням усіх його етапів) та моніторинг процесу зберігання та збуту готової продукції.

Метою роботи була побудова КФС виробництва органічних зернових культур, для досягнення якої авторами структуровано основні етапи цього процесу та визначено тип інформації [2], на основі якої КФС прийматиме рішення, необхідні для виконання необхідних управлінських дій з оптимізування цього процесу. Для засобів збирання та передавання інформації КФС характерним є вибір множини характеристичних параметрів об'єктів з відповідних вимірювальних масивів та баз даних. Для реалізації запропонованої технології було створено програмне забезпечення, яке адаптоване для задачі органічного виробництва зернових культур з позицій створення кібер-фізичної системи. На першому етапі технології вирощування, а саме, визначення місця зернових у сівозміні користувач має вказати попередника з випадуючого списку для культури, яка планується для висівання. Наступним кроком є отримання вимірювальної інформації про вологість ґрунту. Опрацювавши введені дані, програма видасть результат про те, чи можна засівати дану культуру (рис. 1).

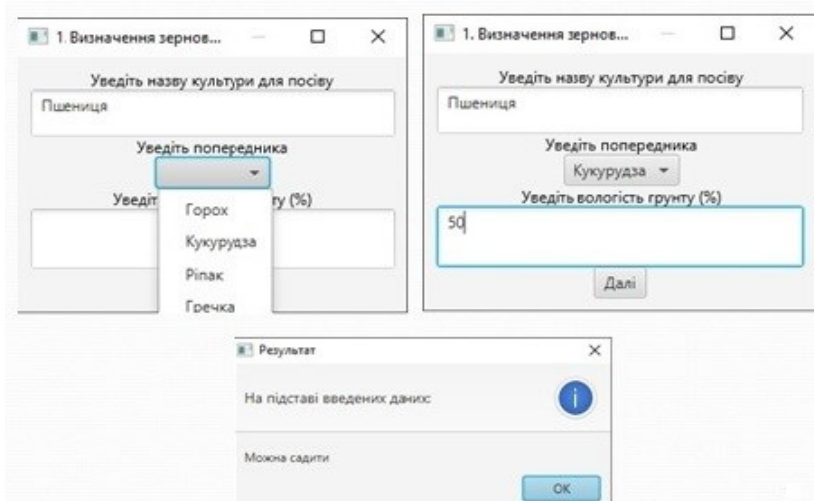


Рис. 1 Скріншот інтерфейсу програми, який демонструє приклад прийняття рішення про доцільність висівання культури

Наступні етапи передбачають прийняття рішень про кількість внесення добрив, готовність зернової культури до висівання, розрахунок масової норми висіву зернових культур. На заключному етапі кібер-фізична система дасть вказівку про те, як правильно зібрати зернову культуру в залежності від ступеня її готовності, опрацювавши дані про вміст вологи у зерні та висоту стеблостою (рис. 2).

Важливим на кожному з етапів є встановлення гранично-допустимих, контрольних значень параметрів об'єкта чи процесу, похибок та непевності вимірювань та обчислень, які є визначальними при виборі методів вимірювань та синтезі алгоритмів опрацювання інформації.

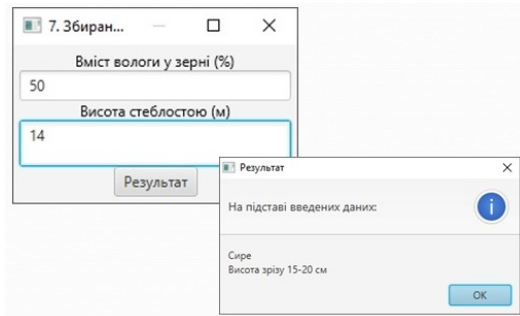


Рис. 2 Скріншот інтерфейсу програми, який демонструє прийняття рішення про умови збирання врожаю

Новизна дослідження полягає у тому, що різні автори демонструють різні підходи до побудови КФС, проте, як впливає з огляду цих робіт, кожна система розробляється з урахуванням критеріїв конкретної прикладної задачі. Тому головним завданням є створення на базі універсальної інтелектуальної системи [3] апарату для вироблення управлінських рішень в конкретній галузі, зокрема під час контролю агровиробництва зернових культур.

З метою вирішення цього завдання було створено підсистему (рис. 3), яка даватиме можливість оперативно проводити тести у відкритому ґрунті та миттєво реагувати на зміну його важливих параметрів.



Рис. 3 Апаратна реалізація підсистеми передавання даних про вологість ґрунту

Підсистема дозволяє досліджувати суглинкові, піщані ґрунти та чорноземи. Вбудована панель забезпечує зберігання результатів вимірювань. На сьогоднішній день переносна підсистема призначена для швидкого вимірювання вологості ґрунту в будь-якій точці поля (площею в кілька десятків квадратних метрів) та після опрацювання отриманих даних формування керуючих дій на етапах вирощування зернових. Підсистема дистанційно (за допомогою Wi-Fi модуля ESP8266) відстежує вологість ґрунту в режимі реального часу. Дані передаються через базову станцію в програму, яка може бути доступною як для фермерів, так і для інших зацікавлених осіб з будь-якого персонального комп'ютера, підімкненого до інтернету.

#### Список літературних джерел

1. Lee, Jay; Bagheri, Behrad; Kao, Hung-An (January 2015). "A Cyber-physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing asystems". Manufacturing Letters. 2. Бубела Т. З. Засади побудови кіберфізичних систем контролю та управління виробництвом зернових культур / Т. Бубела, В. Ванько, П. Столярчук // Комп'ютерні системи та мережі. – Львів: НУ ЛПІ, 2015, № 830. – С. 12-18.
3. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку / А. О. Мельник // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі. - 2014. - № 806. - С. 154-161.
4. Бубела Т.З. Програмне забезпечення етапу збору інформації для кібер-фізичної системи контролю органічного виробництва / Т.З. Бубела, Т.І. Федішин // Technical Using of Measurement – 2017: матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених у царині метрології, 24-29 січня 2017 р., - Славське, 2017. - С. 26-28.

Ю.І.Петров, аспірант НАУ (Україна, Київ)

## МЕТОД ОБРОБКИ ЕФЕКТИВНОСТІ. СИСТЕМА ЗБОРУ І ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ У ЗАСОБАХ КОНТРОЛЮ СИГНАЛІВ ЕЛЕКТРО-ДЕРМАЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ

Ключові слова: інформаційна система, засоби контролю, інформативність контролю, контактні датчики, сигнал електро-дермальної активності шкіри, обробка інформації

При дослідженнях психофізіологічних реакцій людського організму, пов'язаних з оцінкою параметрів реагування людини на різні дії часто застосовуються сигнали його вегетативних функцій, зокрема сигнал електро-дермальної активності.

Одним із способів збору та обробки інформації є застосування поліграфологічних досліджень, під час яких спрямовані подразники викликають появу психофізіологічних реакцій людського організму.

Підвищення фізичного та емоційного напруження особи тісно пов'язане з підвищенням нейрофізіологічної активності кори і глибинних структур головного мозку, які контролюють нижні відділи даного органу та регулюють фізіологічні функції організму.

Достовірна обробка отриманих сигналів дає можливість адекватно висувати версії щодо обставин події, яка досліджується, виявляти зв'язки між об'єктами, виявляти ознаки повідомлення завідомо неправдивої інформації тощо.

Актуальність пошуку нових підходів до рішення такого типу завдань пов'язана з тим, що більшість питань застосуванню параметрів у засобах контролю розроблялись тільки для дослідницьких цілей. Прийняття рішення в них можливе лише при конкретних завданнях, які отримуються на рівні якісних оцінок. Тому настає питання пошуку нових інформаційних параметрів для електро-дермальної активності.

Показано, реальні інформаційні системи (ІС) призначені для збору та обробки інформації про стан об'єкту та не в повній мірі можуть забезпечити її отримання без втрат отримання нової інформації обумовлено обмеженою точністю та надійністю приладу. Виникає необхідність завдання оцінки величини цих втрат, тобто задача по визначенню ефективності роботи системи.

Запропоновано використовувати інтегральну пропускну спроможність  $W(t)$ , що є відношенням кількості інформації  $l_y$ , отриманою на виході ІС за час її роботи  $t$ , до кількості інформації  $l_x$ , яка поступила на вхід за той самий час:

$$W(t) = \frac{l_y(t)}{l_x(t)}. \quad (1)$$

Величину інформації  $l_x$ , що надійшла на вхід системи за час  $t$ , визначимо за формулою

$$l_x(t) = \Omega t \ln \sigma_x^2 2\pi t, \quad (2)$$

де  $\Omega$  — частота, що обмежує спектр вхідного сигналу системи.

Оскільки ми маємо реальну ІС, то кількість інформації, яка отримана на виході з системи  $l_y$  за час  $t$ , буде менше, ніж  $l_0(t)$ , при наявності відмови системи відпрацьовує мало часу  $t_i$ , визначеної надійністю системи  $P(t)$ :

Підставляючи формулу (2) в формулу (1) отримуємо ефективність інформаційної системи -  $W(t) = \frac{F}{2\Omega} W_H(t) \cdot W_T(t)$ , при  $\sigma_x^2 \gg \sigma_\varepsilon^2$ : [1]

$$\text{де } W_H(t) = \frac{t_1}{t} = \frac{1}{t} \int_{t_0}^t P(t) dt, \quad W_T(t) = 1 - \frac{\ln \cdot \sigma_\varepsilon \sqrt{2\pi t}}{\ln \cdot \sigma_x \sqrt{2\pi t}}.$$

Запропоновано математичну модель  $W(t)$  для розгляду залежності інформаційної системи від її технічних характеристик, при практичного застосуванні введених ефективності  $W(t)$  є можливість формулювання на етапі проектування вимог до точності і надійності системи, що

забезпечують її значення  $W_3$ . Для цього знаходяться лінії постійних значень  $W = const$  в координатній системі  $(\sigma_\varepsilon \sqrt{2\pi l}, \lambda t)$  (рис. 1).

Приведемо моделі процесів втрати точності серед випадкових процесів, що мають певну функціональну залежність від часу. Skorиставшись методом статистичної лінеаризації, розглянемо три види таких процесів (рис.1) і визначимо для них складову  $W_T(t)$  [1,2].

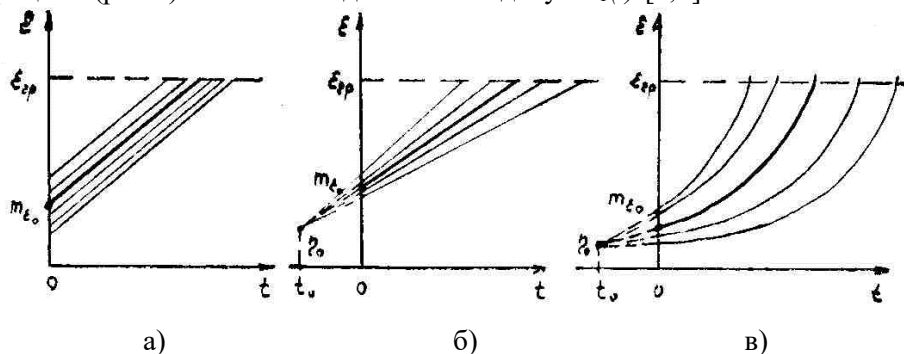


Рисунок 1. Моделі випадкових процесів зміни погрешності інформаційної системи: а-лінійна рівномірна; б-лінійна веєрна; в- експоненціальна веєрна

Розроблена лінійна рівномірна модель (рис. 1,а) змінення похибка системи  $\varepsilon: \varepsilon = \varepsilon_0 + \nu t$ .

Тут  $\varepsilon_0$  і  $\nu$  - випадкові величини відповідно до початкової похибки системи і швидкості її зміни, що мають нормальний закон розподілу. При цьому вважається, що при  $\sigma_y = 0$

$$\sigma_\varepsilon^2(t) = \sigma_{\varepsilon_0}^2 = const. \text{ Тоді } W_T(t) = 1 - \frac{\ln \sigma_{\varepsilon_0} \sqrt{2\pi l}}{\ln \sigma_x \sqrt{2\pi l}}.$$

Лінійна веєрна модель (рис. 1,б) зміни похибки системи  $\varepsilon$ , яка має початкові координати  $(t_0, \eta_0): \varepsilon = \varepsilon_0 + \nu t$ . Тут полагаємо, що  $\sigma_y \neq 0$ , та де  $t > 0$ ;  $\sigma_\varepsilon^2(t) = \sigma_{\varepsilon_0}^2 + t^2 \sigma_\nu^2 + 2t \sigma_{\varepsilon_0} \sigma_\nu$ .

$$\text{Тоді, } W_T(t) = 1 - \frac{\ln.(\sigma_{\varepsilon_0} + t \sigma_\nu) \sqrt{2\pi l}}{\ln. \sigma_x \sqrt{2\pi l}}.$$

Експоненціальна веєрна модель (рис. 1,в) зміни похибки системи  $\varepsilon$ , яка має початкові координати  $(t_0, \tau_{i0})$  и  $\sigma_\nu \neq 0: \varepsilon = \varepsilon_0 \exp(\nu t)$ .

Отримавши значення для  $\sigma_\varepsilon^2(t)$  порівняння визначені та моменти часу  $t$  з відповідних значень  $\sigma_x \sqrt{2\pi l}$ , можна скористатися графіками (рис. 1) як виміряти ефективність інформаційних систем, так і для вибору необхідних значень показника точності та надійності.

Розроблено рекомендації щодо підвищення рівня інформативності сигналів у момент збору та обробки сигналу електро-дермальної активності у інформаційної системи.

#### Список літературних джерел

1. Эдсолл Дж., Гатфренд Х. Биотермодинамика. Изучение равновесных биохимических процессов. М., "Мир", 1986. – 243 с.
2. Nam W. Adaptive control based on explicit model of robot manipulator // IEEE. Trans. Automat. Control.-1993. Vol.38 №4. P.654-658.
3. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации.-М.: Наука, 1984.-284 с.

І.В. Дмитрів, к.т.н.

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ДІАГНОСТУВАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ДОЇННЯ

**Ключові слова:** доїльний апарат, алгоритм тестування, діагностування, вакуумметричний тиск, співвідношення тактів, частота пульсації

Виконання технологічного процесу машинного доїння корів вимагає відповідності параметрів доїльної установки вимогам стандартів [1-3]. Якість роботи доїльного апарата забезпечується системою діагностичних параметрів, які дозволяють оцінити рівень готовності і відповідності технічної системи фізіологічним вимогам процесу молоковіддачі корови. В процесі роботи доїльного обладнання відбувається зміна технологічних параметрів, що призводить до невідповідності системи “машина-тварина”. Тому діагностика параметрів системи в процесі виконання технологічного процесу і їх переналадження забезпечить адаптацію систем доїльної установки до фізіології молоковіддачі корови.

Узагальнену схему доїльної установки [4] (рис. 1) на основі досліджень [5-8] доопрацьовано додатковими контрольними точками тестування й діагностики відповідно до ISO 6690 [3]. Тестування параметрів доїльних систем проводять в трьох режимах роботи: сухе доїння без рідини; вологе доїння, включаючи доїння в натуральних умовах; тестування (діагностування) в процесі промивання.

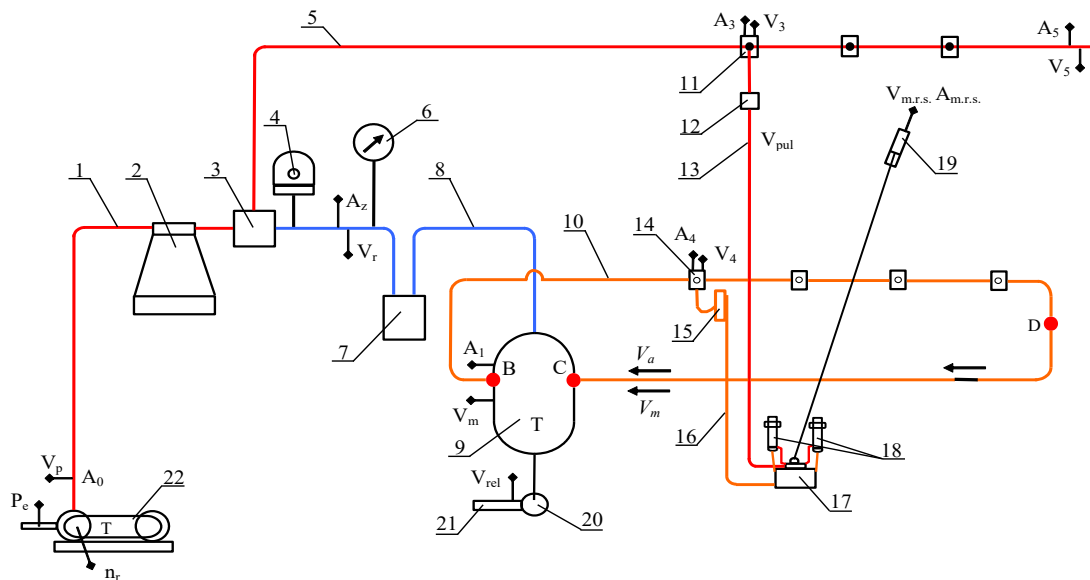


Рис. 1 – Структурно-функціональна схема доїльної системи з контрольними точками для тестування: 1,5 – вакуумпровід; 2 – вакуумний балон; 3 – розподільчий резервуар; 4 – вакуумний регулятор; 6 – вакуумметр; 7 – камера; 8 – вакуумпровід молокозбірника; 9 – молокозбірник; 10 – молокопровід; 11 – вакуумний кран; 12 – пульсатор; 13 – вакуумний шланг доїльного апарата; 14 – молочний кран; 15 – лічильник молока; 16 – молочний шланг доїльного апарата; 17 – колектор; 18 – доїльний стакан; 19 – система зняття підвісної частини доїльного апарата; 20 – молочний насос; 21 – вихідний патрубок молоко збірника; 22 – вакуумний насос; Контрольні точки і параметри доїльної установки: підключення витратоміра повітря -  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_{m.r.s}$ ; контроль вакуумметричного тиску -  $V_p, V_r, V_m, V_k, V_a, V_3, V_4, V_5, V_{m.r.s}$ ;  $P_e$  – точка для проведення вимірювання надлишкового тиску; частота обертання ротора  $n_r$ ; швидкість молока і повітря в молокопроводі -  $V_m, V_a$ ; точки контролю - B, C, D коливань тиску в молокопроводі та молокозбірнику

Стандарт ISO 5707:2007 [1, 3] регламентує лише рекомендовані середні значення робочого вакуумметричного тиску, які для молокопроводу з верхнім розташуванням становлять від 47 до 50 кПа, для молокопроводу середнього розташування (не вище 1,25 м) від 45 до 48 кПа та для молокопроводу з нижнім розташуванням від 42 до 46 кПа. Коливання вакуумметричного тиску в системі в процесі машинного доїння корів не повинні перевищувати 2 кПа.

Важливим діагностичним параметром, що характеризує адекватність роботи систем доїння є частота пульсації. Оптимальні значення та методика проведення вимірювань наведені в стандарті



ISO-6690 [4]. Згідно стандарту ISO характеристики пульсатора можуть відрізнятися від оптимальних для частоти пульсації не більше  $\pm 0,05$  Гц, а співвідношення тактів не більше  $\pm 5$  %.

На основі аналізу досліджень В. Побединского [5] G Mein, David MD Williams, Douglas J Reinemann [6] з врахуванням вимог вказаних в міжнародних стандартах ISO [1, 2] та власних досліджень [7, 8] запропонована діаграма характеристик тиску та параметрів доїльних установок (рис. 2). Запропонована діаграма характеризує роботу доїльних апаратів через взаємодію доїльного апарата з дійками вимені тварини та процесів що відбуваються в піддійковій камері доїльного апарата, колекторі та молоко-вакуумній системі доїльної установки.

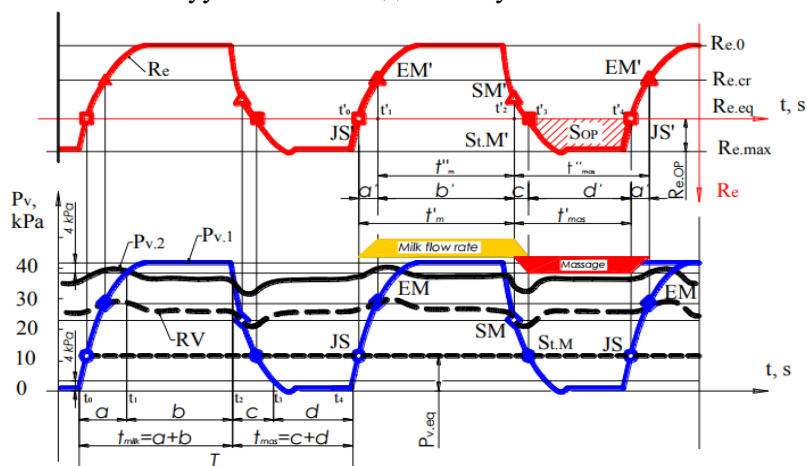


Рис. 2 - Характеристики діаграми тисків та параметри доїльних апаратів:  $P_{v.1}$  – вакууметричний тиск в камері пульсації доїльного апарата;  $P_{v.2}$  – вакууметричний тиск в піддійковій камері – вакуум доїння;  $P_{v.eq}$  вакуум рівноваги;

$R_e$  – інтегральний динамічний вплив дійкової гуми на АТС.  $R_e$  – результат взаємодії сил: піддійкового вакууму  $P_{v.2}$ , дійкової гуми і в цілому підвісної частини доїльного апарата (складові  $R_e: R_{e.max}, R_{e.eq}, R_{e.cr}$  і  $R_{e.0}$ );  $R_{e.op}$  – ефективний тиск (результат інтегрального впливу дійкової гуми на АТС); SM (◇) – початок масажу дійки дійковою гумою та початок перекриття дійкового каналу; StM (●) – закінчення витікання молока, внаслідок перекриття дійкового каналу дійковою гумою; JS (○) – початок витікання молока (розмикання дійкової гуми); EM (◆) – кінець масажу дійки дійковою гумою, що відповідає повному відкриттю дійкового каналу

### Список літературних джерел

1. ISO 5707. Milking machine installations – Construction and performance. – Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization, 2007. – 52 p.
2. ISO 3918. Milking machine installations – Vocabulary. – Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization, 2007. – 42 p.
3. ISO 6690. Milking machine installations – Mechanical tests. – Geneva, Switzerland: The International for Standardization Organization, 2007. – 46 p.
4. Установка для індивідуального доїння УІД-10 [Електронний ресурс] / Режим доступу до даних: <http://bratslav.com/uk/priv-jazne-utrimannja/individual-na-doil-na-ustanovka.html>. – Дата звернення: 7.07.2017.
5. Побединский В. Принципы и эффективность сервиса доильного оборудования / В. Побединский, А. Иойшер, П. Михайленко, А. Мартин // [Електронний ресурс] / Режим доступу до даних: [http://dspace.uasm.md/bitstream/handle/123456789/1186/Vol\\_45\\_120-123.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.uasm.md/bitstream/handle/123456789/1186/Vol_45_120-123.pdf?sequence=1&isAllowed=y) – Дата звернення: 13.08.2017.
6. Mein G. Effects of milking on teat-end hyperkeratosis: 1. Mechanical forces applied by the teatcup liner and responses of the teat / G. Mein, David MD Williams, Douglas J. Reinemann // ANNUAL MEETING-NATIONAL MASTITIS COUNCIL INCORPORATED. 2013. – V. 42. – P. 114-123.
7. Дмитрів В.Т. Методологія діагностування параметрів і режимів роботи елементів доїльної установки / В.Т. Дмитрів, І.В. Дмитрів // Вісник Харківського нац. техн. університету с. г. ім. Петра Василенка. – Вип. 108 “Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві” – Харків: ХНТУСГ, 2011. – С. 210-221.
8. Dmytriv I. Влияние технологических параметров доильного аппарата на режимы адаптации системы “машина-корова” / I. Dmytriv // V International Scientific Congress Agricultural Machinery, 21-24.06.2017. – Varna (Bulgaria). Volume 2(2), 2017. – P. 219-221.

**Р.Н.Кветний, д.т.н., проф.; Є.О.Титарчук, аспірант**

## **ХМАРНА СИСТЕМА ОБМІНУ ЕЛЕКТРОННИМИ ГРОШИМА НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ ЧАСТКОВО ГОМОМОРФНОГО ШИФРУВАННЯ**

**Ключові слова:** Електронні гроші, гомоморфне шифрування, криптовалюта, еліптичне шифрування

Вступ. Електронні гроші міцно закріпилися в нашому повсякденному житті. Цей вид грошей був введений для спрощення розрахунків у мережі Інтернет. Зараз їх використовують для оплати товарів та послуг, роботи віддалених робітників, переказів традиційних грошей, тощо.

В наш час електронні гроші поступово заміщують паперові, адже вони мають значну кількість переваг: зручність та доступність, економія часу; адже платежі відбуваються миттєво та можуть бути автоматизовані, зазвичай вимагають менше комісійних та дозволяють зберігати анонімність. Проте значними є і недоліки: ймовірність взлому, необхідність підключення до мережі, а також незахищеність – адже гарантом електронних грошей є лише емітент, держава ж не надає жодних гарантій і не несе жодної відповідальності.

Надзвичайний розвиток хмарних сервісів змушує банки все частіше звертати увагу на можливість перенесення обчислювальних потужностей необхідних для сучасної банківської системи у «хмару». Проте небезпекою таких дій є відкриття фінансової інформації користувачів провайдеру хмарного сервісу. [2]

Метою даної роботи є підвищення захищеності грошообміну шляхом створення хмарної моделі фінансової системи у якій користувачі та контролюючий орган зможуть зберігати рахунки та виконувати фінансові транзакції без розкриття особистої та фінансової інформації.

Опис системи. Мінімальна система необхідна для захищеної транзакції складається з наступних елементів:

- трьох користувачів системи, їх клієнтських додатків та рахунків у банківській службі;
- банку, його локального серверу та служби у хмарі.

Для захисту персональної інформації користувачів у протоколі транзакції пропонується використання частково гомоморфного відносно операції додавання алгоритму шифрування на основі еліптичних кривих. [3–4]

Після реєстрації користувача на локальному сервері банківської системи клієнт отримує персональний приватний ключ ( $p$ ). Також локальний сервер банку генерує та повідомляє іншим учасникам системи публічний ключ алгоритму шифрування, точку ( $P_S$ ). Спрощена діаграма сеансу транзакції показана на рисунку 1:

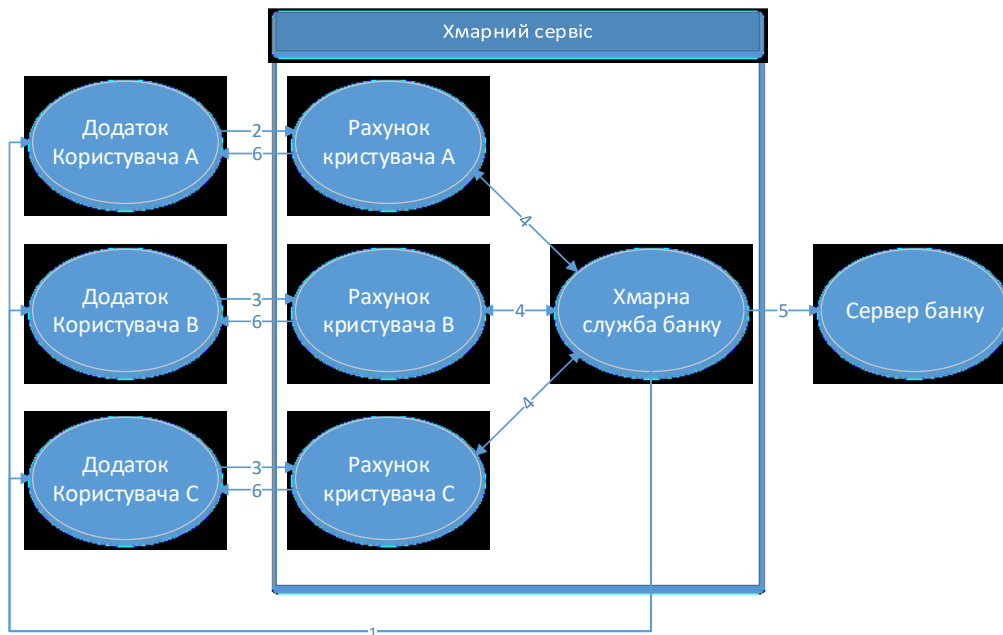


Рис. 1 – Сеанс для здійснення захищеної транзакції

Перевагою даного підходу є неможливість відслідковування фінансових операцій користувачів на стороні хмарного сервісу, навіть після завершення транзакції та розкриття рахунків окремих користувачів мережі.

Таким чином, на відміну від існуючих аналогів, інформація про транзакцію коштів окремої людини є недосяжною не тільки для сторонніх осіб, а і для власників обчислювальних ресурсів на яких працює система. А використання частково гомоморфного алгоритму шифрування на еліптичних кривих дозволяє досягти достатньої, для функціонування системи, швидкодії, коли час виконання операцій не впливає суттєво на процедуру переказу коштів. Представлена система має багато схожих рис з сучасними криптовалютами, проте, на відміну від них, містить централізований сервер, що дає змогу централізованого контролю над фінансовою системою.

Значним недоліком системи є геометричне зростання пам'яті, необхідне для зберігання зашифрованої суми коштів при зростанні кількості користувачів системи, що впливає із формул 1-3.

## Література

1. Chaum D. Blindsignatures for untraceable payments / D. Chaum. — 1983.
2. Титарчук Є. О. Захист даних в хмарних технологіях комп'ютерних обчислень / Є. О. Титарчук // Pridneprovsky research journal. — 2014. — Vol. 5, No. 152. — P. 77–82.
3. Кветний Р. Н. Використання частково гомоморфного алгоритму шифрування на еліптичних кривих у хмарній системі електронного голосування / Р. Н. Кветний, Є. О. Титарчук // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2016. — Vol. 32, No. 2. — P. 14–22.
4. Кветний Р. Н. Аналіз криптостійкості частково гомоморфного алгоритму шифрування на основі еліптичних кривих / Р. Н. Кветний, Є. О. Титарчук // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2017. — Vol. 1, No. 38. — P. 83–87.

**А.В. Кожем'яко, к.т.н., доц.; О.О. Сидорук, ст.; А.В. Шевчук, ст.; М.І. Урсан, ст.**

## **РОЗПОДІЛЕНА ОПТОЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ**

Ключові слова: Arduino, Atmega, сенсор, датчик, екологічний моніторинг, база даних, сервер, WebSocket.

Актуальність системи полягає у застосуванні сучасних технологій, які забезпечать оперативну та комплексну обробку результатів спостережень та візуалізацію даних забруднення атмосферного повітря. В процесі моніторингу атмосферного повітря здійснюється збір, опрацювання, аналіз, оцінювання та прогнозування стану повітря з метою його покращення. Як результат зменшується кількість викидів та усуваються забруднюючі речовини, що є важливим для природного середовища. Для вирішення цих проблем необхідно проводити регулярний моніторинг стану атмосферного повітря та здійснювати подальший аналіз отриманих даних з використанням сучасних інформаційних технологій.

Для реалізації системи були поставлені задачі, пов'язані із збиранням даних і надсиланням їх на сервер та їх візуалізацією і обробкою з використанням WEB-технологій. Система моніторингу базується на платформі Arduino та складається із двох модулів. Головний модуль представлений на рис. 1 являє собою систему у якій розташовані основні вузли системи, що відповідають за програмування/налаштування, системи живлення і заряджання li-on акумулятора, системи збирання інформації та її попередньої обробки з подальшим відсиланням на сервер.

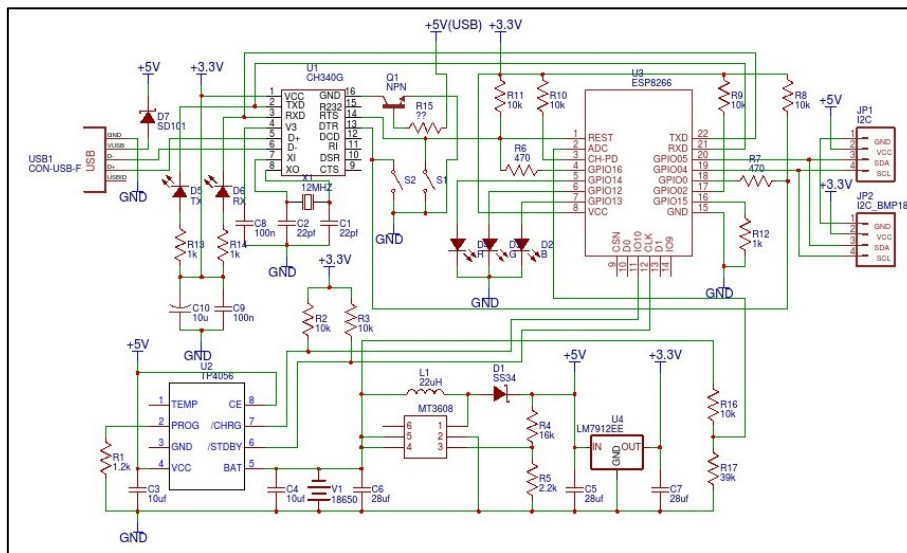


Рисунок 1 – Принципова схема головного модуля

Модуль сенсорів принципова схема якого представлена на рис.2 складається з кількох сенсорів з яких інформація надходить на мікроконтролер і в подальшому обробляється та надсилається по інтерфейсу I2C до головного модуля. Це структурує передачу даних з модуля сенсорів до головного модуля [1].

В якості сенсора якості повітря був обраний багатофункціональний MQ135, який призначений для визначення концентрації NH<sub>3</sub>, NO, парів алкоголю, бензину, диму, CO<sub>2</sub> і т .д. Датчик формує інформацію у аналоговому вигляді. Для аналізу вмісту пилу у повітрі використаний інфрачервоний датчик типу GP2Y1010AU0F, у якому використовується система оптичного зондування. Пристрій побудований на вимірюванні відбитого світла пилом або димом в повітрі [3].

Для обробки збирання даних від розподіленої системи датчиків, попередньої обробки даних і комунікаціями із сервером використовується високопродуктивний RISC мікроконтролер Atmega168 з низьким енергоспоживанням.

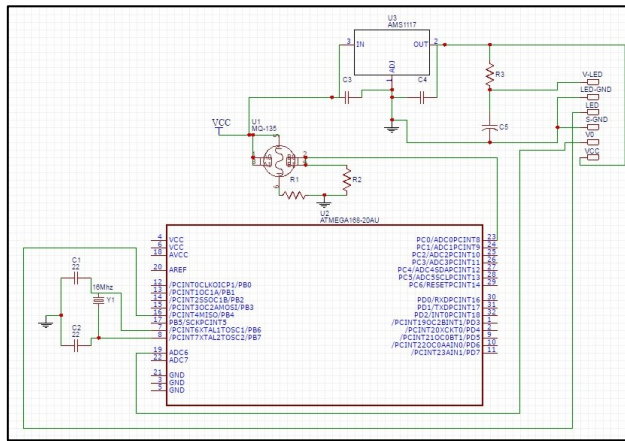


Рисунок 2–Принципова схема модуля сенсорів

Зв'язок сервера із датчиками відбувається за допомогою POST-запитів. При отриманні даних від датчика, модуль збирання та попередньої обробки інформації додає отриманні дані в колекцію датчика, яка зберігається в базі даних і паралельно з цим надсилає отриманні дані всім користувачам в системі, підписаним на цей датчик, після чого клієнтський модуль їх обробляє та відображає у зручному для користувача вигляді. Особливістю клієнтського модуля системи є використання геолокації на основі технологій Google. При завантаженні сторінки, завдяки зв'язку з модулем збирання та попередньої обробки інформації на основі технології WebSocket, одержується інформація про координати датчиків та забруднювачів і вона відтворюється на мапі у вигляді маячків.



Рисунок 2– Візуалізація системи екологічного моніторингу

Функціонал передбачає ряд фільтрів, які дозволяють користувачеві відбирати інформацію за необхідними ознаками. Відтворювані дані формуються як на основі зібраної раніше інформації з бази даних, так і наживо в реальному режимі часу з обраними користувачем датчиками. Вибір користувачем певного датчику для спостереження активізує діалог сервера і модуля збирання інформації на основі технології WebSocket [4]. Реагуючи на запит, модуль збирання та попередньої обробки інформації надсилає серверу колекцію даних, якої буде достатньо задля відображення графіків з детальною інформацією про виміри, які здійснюють відповідні пристрої. Після отримання цієї колекції, клієнтський модуль наносить ці дані на графіки та виводить в окремому полі покази наших пристроїв в режимі реального часу.

Результати довготривалих спостережень мають наукову цінність. На основі цих даних буде можливим уточнити основні закономірності утворення та поширення забруднюючих речовин в межах конкретних населених пунктів.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кожемяко В. П., Павлов С. В., Гарновський М. Г. Оптоелектронна схемотехніка. Навчальний посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 189 с.
2. Проекты с использованием контроллера Arduino. — СПб.: БХВ-Петербург, 2014. — 400 с.: ил. — (Электроника)
3. BasWijnen, G. C. Anzalone and Joshua M. Pearce, Open-sourcemobilewaterqualitytestingplatform. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development, 4(3) pp. 532–537 (2014). doi:10.2166/washdev.2014.137
4. David Geary. Core HTML5 Canvas: Graphics, Animation, and Game Development. – Prentice Hall, 2012. – 510 с.

А. С. Довбиш д.т.н., проф.; В. С. Пятаченко, студент

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ПРОТЕЗ КІНЦІВКИ РУКИ З НЕІНВАЗИВНОЮ СИСТЕМОЮ ЗЧИТУВАННЯ БІОСИГНАЛІВ

**Ключові слова:** міографічний датчик, протез руки, інтелектуальна система керування, біосигнал, навчальна матриця, інформаційно-екстремальна інтелектуальна технологія, інформаційний критерій, машинне навчання, розпізнавання.

Створення інтелектуальних протезів руки на основі машинного навчання та розпізнавання образів дозволяє суттєво розширити їх функціональні можливості. Тому тема науково-дослідної роботи є актуальною, оскільки присвячена підвищенню функціональної ефективності системи керування протезом кінцівки руки. Найбільш досконалими є інтелектуальні протези кінцівок з інвазивною системою зчитування біосигналів. Але їх основним недоліком є дуже висока вартість на світовому ринку. Крім того, застосування інвазивних систем зчитування біосигналів вимагає попереднього хірургічного втручання, яке дозволяє підвищити відношення “біосигнал/завада”. Суттєво дешевшими і зручнішими у використанні є протези з неінвазивною системою зчитування біосигналів. Але їх основним недоліком є відносно висока зашумленість біосигналу, що суттєво впливає на точність виконання біокоманд. Тому науково-дослідна робота, яка виконується на кафедрі комп’ютерних наук Сумського державного університету, спрямована на розв’язання важливої науково-практичної задачі підвищення функціональної ефективності протезів руки з неінвазивною системою зчитування біосигналів і наближення їх до функціональних можливостей інвазивних при збереженні відносно невисокої собівартості. Зміст роботи полягає у розробленні інтелектуальної інформаційної технології керування протезом кінцівки руки на основі пасивних міографічних датчиків. Розробка виконується в рамках так званої інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології), яка ґрунтується на максимізації інформаційної спроможності системи керування в процесі машинного навчання [1].

Інформаційно-екстремальний алгоритм машинного навчання з оптимізацією системи контрольних допусків на ознаки розпізнавання подається у вигляді ітераційної процедури пошуку глобального максимуму усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного критерію в робочій (допустимій) області визначення його функції

$$\delta_K^* = \arg \max_{G_\delta} \{ \max_{G_E \cap \{k\}} \bar{E}^{(k)} \}, \quad (1)$$

де  $\bar{E}^{(k)}$  – усереднений інформаційний критерій оптимізації параметрів навчання, який обчислюється на  $k$ -му кроці навчання;  $G_\delta$  – допустима область значень параметра  $\delta$ , який дорівнює половині двобічного, симетричного поля контрольних допусків на ознаки розпізнавання.

Оптимізація параметрів навчання здійснювалася за модифікованим ентропійним критерієм Шеннона, який для двоальтернативних рішень і априорно рівно ймовірних гіпотез має вигляд

$$E_m^{(k)} = 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\alpha_m^{(k)}(d)}{\alpha_m^{(k)}(d) + D_{2,m}^{(k)}(d)} \log_2 \frac{\alpha_m^{(k)}(d)}{\alpha_m^{(k)}(d) + D_{2,m}^{(k)}(d)} + \frac{\beta_m^{(k)}(d)}{D_{1,m}^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} \log_2 \frac{\beta_m^{(k)}(d)}{D_{1,m}^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} + \frac{D_{1,m}^{(k)}(d)}{D_{1,m}^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} \log_2 \frac{D_{1,m}^{(k)}(d)}{D_{1,m}^{(k)}(d) + \beta_m^{(k)}(d)} + \frac{D_{2,m}^{(k)}(d)}{\alpha_m^{(k)}(d) + D_{2,m}^{(k)}(d)} \log_2 \frac{D_{2,m}^{(k)}(d)}{\alpha_m^{(k)}(d) + D_{2,m}^{(k)}(d)} \right), \quad (2)$$

де  $\alpha_m^{(k)}(d)$  – помилка першого роду прийняття рішення на  $k$ -му кроці навчання;  $\beta_m^{(k)}(d)$  – помилка другого роду;  $D_{1,m}^{(k)}(d)$  – перша достовірність;  $D_{2,m}^{(k)}(d)$  – друга достовірність;  $d$  – дистанційна міра, яка визначає радіуси гіперсферичних контейнерів класів розпізнавання, побудованих в радіальному базисі простору Хеммінга.

Критерій (2) є нелінійний і взаємно-неоднозначний функціонал від точнісних характеристик, що потребує знаходження в процесі навчання робочої (допустимої) області для його визначення.

Алгоритм (1) навчання системи керування протезом кінцівки руки було реалізовано для розпізнавання трьох класів, які характеризували біосигнали при виконанні трьох рухів: поворот кисті протезу лівої руки вправо на  $90^\circ$  – клас розпізнавання  $X_1^o$ ; згинання чотирьох пальців (крім

великого) для взяття флешки, що знаходилася на столі) – клас розпізнавання  $X_2^o$  і стиснення кулака з метою захоплення флешки – клас розпізнавання  $X_3^o$ .

Для заданого алфавіту  $\{X_m^o | m = \overline{1, M}\}$  була сформована вхідна навчальна матриця у вигляді тривимірного масиву  $\{y_{m,i}^{(j)} | i = \overline{1, N}; j = \overline{1, n}\}$ , де  $N$  – кількість ознак розпізнавання;  $n$  – кількість векторів-реалізацій класу  $X_m^o$  в навчальній матриці, і система полів нормованих допусків  $\{\delta_{H,i}\}$  на ознаки розпізнавання, яка задає область значень відповідних контрольних допусків. Реалізації вхідної навчальної матриці склалися із впорядкованої за часом послідовності значень біосигналу, яка зчитувалася з міографічного датчика при виконанні певного руху (рис. 1).

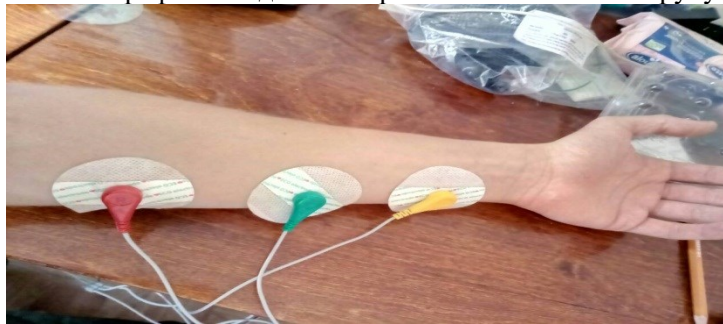


Рисунок 1 – Розташування електродів міографічного датчика на руці

Нормалізація біосигналу здійснювалася шляхом його квантування в часі із періодом  $20ms$  на заданому часовому інтервалі  $2s$ . Тобто кожна реалізація образу складалася із 100 ознак.

На рис. 2 показано графік залежності усередненого за алфавітом класів розпізнавання інформаційного критерію (2) від параметра  $\delta$  поля контрольних допусків, який на кожному кроці машинного навчання змінювався для всіх ознак розпізнавання одночасно.

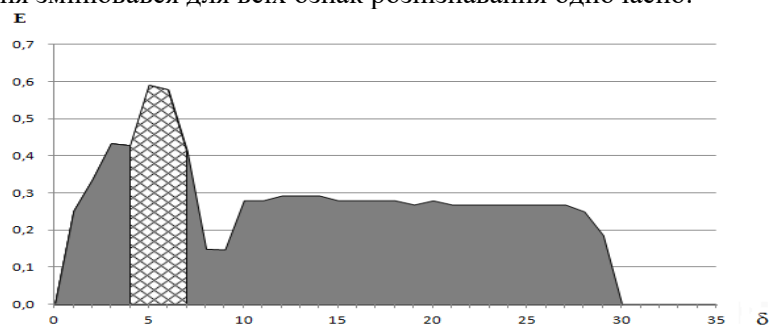


Рисунок 2 – Графік залежності інформаційного критерію від параметра  $\delta$

На рис. 2 подвійною штриховкою позначено робочу (допустиму) область визначення критерію (2), в якій перша і друга достовірності перевершують відповідно помилки першого і другого роду. Аналіз графіку показує, що оптимальне значення параметру поля контрольних допусків дорівнює  $\delta^* = \pm 5mV$  при максимальному значенні інформаційного критерію  $E = 0,59$ . Оскільки нормований критерій не досягає свого максимального значення, то можна зробити висновок, що синтезований класифікатор не є безпомилковим за навчальною матрицею. Для підвищення функціональної ефективності машинного навчання планується збільшити глибину навчання шляхом оптимізації

#### Список літературних джерел

1. Довбиш А.С. Основи проектування інтелектуальних систем: Навчальний посібник / А.С. Довбиш.– Суми: Видавництво СумДУ, 2009.– 171 с.

М.М. Биков, к.т.н., проф.; А. Раїмі, PhD, професор;  
А.С. Алексєєнко

## НАДІЙНІСТЬ ПЕРЕДАЧІ РАНГОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ В СИСТЕМАХ РОЗПІЗНАВАННЯ І ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

*Ключові слова:* системи діагностики, представлення інформації, рангові конфігурації, потенціальний код, вірогідність не виявлення помилки, корегуючі здатність.

Для уніфікації методів і алгоритмів ідентифікації станів технічних систем під час їх діагностування і розпізнавання за умови їх опису в різних параметричних просторах - детерміністичному, імовірнісному, нечіткому, наближеному, можливісному та інш., автори запропонували в попередніх роботах [1,2] описувати ці стани за допомогою рангових конфігурацій. При цьому виникла необхідність в представленні цих конфігурацій потенціальними кодами (*DRP-codes* – кодами, що зберігають ранги відстаней). На відміну від загальноприйнятих підходів, в яких кодування виконується з урахуванням тільки вимоги розрізнення та перешкодостійкості, в запропонованому способі двійкового представлення станів систем інформація про відстані між ними міститься в самих кодах. Такий підхід дає можливість величину рангу відстані визначати безпосередньо шляхом порівняння кодів за допомогою логічної операції “Г”. Під час реалізації такого підходу виникає задача оцінки надійності передачі рангової інформації в каналах передачі інформаційних мереж, що зв’язують системи діагностики і розпізнавання з системами прийняття рішень. Надійність передачі будемо визначати в термінах ймовірності невиявлення помилок заданої кратності в словах потенціального коду (*DRP-коду*) та його корегуючої здатності. Як було показано в роботі [3], за своєю формою *DRP-код* є перестановочним кодом з постійною вагою (КПВ), тому для визначення його перешкодостійкості можна скористатися відомими [4] для цих кодів залежностями. Стандартний КПВ (наприклад, МТА-3, що містить в кодовому слові 3 одиниці і 4 нулі) має мінімальну кодову відстань  $d_{min} = 2$  і виявляє всі помилки непарної кратності, а також всі помилки парної кратності, які призводять до порушення умови  $m = const$ , де  $m$  – кількість одиниць в кодовому слові. У декодері підраховується кількість одиниць у прийнятій кодовій комбінації. Невідповідність кількості одиниць числу  $m$  говорить про наявність помилки у кодовому слові. Оскільки кодова відстань  $d_{min} = 2$ , то коригуюча здатність стандартних КПВ кодів дорівнює нулю, тобто декодер не виправляє навіть помилки одиничної кратності.

В даній роботі показано, що принцип формування і декодування потенціальних кодів для заданих рангових конфігурацій на основі логічної операції “Г”, запропонований авторами, дозволив зменшити ймовірність  $P_n$  не виявлення однієї помилки в кодовому слові (сумісна вірогідність перетворення однієї одиниці в нуль і одного нуля в одиницю) приблизно в  $10^8$  раз.

В роботі також доведено, що за допомогою запатентованого авторами декодера рангової інформації [5] можна виявляти і коригувати всі виявлені одиничні помилки, а також парні помилки (сумісна заміна в кодовому слові одиниці на нуль і нуля на одиницю), які декодер стандартного КПВ коду взагалі не виявляє.

Таким чином, запропоновані авторами методи кодування станів ранговими конфігураціями дозволяють значно підвищити надійність передачі інформації в системах технічної діагностики.

### Список літературних джерел

1. Биков Н.М., Бикова К.Н. Unified method of knowledge representation in the evolutionary artificial intelligence systems. - Proceedings of SPIE, vol. 5098 (2003), pp. 244-253
2. Биков М.М. Універсальний метод представлення інформації в інтелектуальних еволюційних системах / Биков М.М. // Відбір і обробка інформації. - 2006.- Вип. 24(100). С. 35-42.
3. Биков М.М., Філатова М.М. Визначення характеристик потенціальних кодів за моделями рангових конфігурацій. - Вісник Хмельницького національного університету, №5, 2013 р.– с. 92-97.
4. Злотник Б.М. Помехоустойчивые коды в системах связи/ Злотник Б.М. – М.: Радио и связь, 1989.– 232 с.
5. Биков М. М., Кучерук Н.О., Смірнов К.Ю. Спосіб передачі інформації. Патент №48409, Подано 12.11.2009, Опубліковано 10.03.10



**О.І.Варченко доцент; М.С.Граф, аспірант**

## **ДЕРЕВО ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ МІЖ БОРТОВИМ КОМП'ЮТЕРОМ БЕЗПІЛОТНОГО ПОВІТРЯНОГО СУДНА ТА ОПЕРАТОРОМ**

**Ключові слова** – безпілотне повітряне судно, БПС, дерево властивостей, технології передачі даних, система передачі даних, властивості системи передачі даних, точність передачі, швидкість передачі.

Розглянемо систему зв'язку, що забезпечує двосторонній обмін інформацією між бортовим комп'ютером безпілотного повітряного судна (БПС) та оператором.

При двосторонній передачі даних між бортовим комп'ютером та оператором можуть виникати складності проведення аналізу інформації, що постійно змінюється під впливом зовнішніх факторів. Для полегшення задачі аналізу інформації, її точності та швидкості передачі вхідний сигнал потрібно обробляти належним чином. Результат алгоритмів аналізу, точність та швидкість передачі інформації напряму залежать від вхідних даних, що, в свою чергу, залежать від системи передачі даних. На систему передачі даних між бортовим комп'ютером БПС та оператором будуть впливати різні фактори, такі як обраний канал передачі, методи, що використовуються для обробки даних, кодування, тип сигналу, середовище польоту та інше. Кожен з таких факторів може бути розділений на певні підвиди, що також можуть ділитися на менші ланки. При виборі методів підбору способів коригування точності та швидкості передачі інформації доцільно розглянути максимально можливу кількість факторів впливу на систему передачі даних.

Для розкладання властивостей у вигляді послідовного багаторівневого поділу використовується дерево властивостей. Дерево показує взаємозв'язок між складними, квазіпростими та простими властивостями об'єкта – системи передачі даних. Для зручності дерево зображується зліва направо.

Для першого рівня загальною властивістю будуть можливі впливи на систему передачі даних залежності від:

- каналу передачі;
- завад;
- кодування та/або шифрування;
- методів обробки даних при керування БПС;
- швидкості польоту;
- відстанню між оператором та БПС;
- середовища польоту;
- чутливості;
- похибки;
- проведення фільтрації;
- порогової обробки;
- типу сигналу;
- часових параметрів;
- показників функціональності;
- показників якості.

На другому рівні дерева зображуються поділ на підвиди кожної з ланок першого рівня.

Так, для каналу передачі підвидами будуть: зв'язок борт-Земля, супутниковий зв'язок, інші види зв'язку. До методів обробки даних при керування БПС – нейронні мережі, генетичні алгоритми, нечітка логіка. Часові параметри поодяляють на швидкодію та одиниці виміру швидкодії.

На третьому рівні дерева властивостей системи передачі даних між бортовим комп'ютером БПС і оператором вказуються менш складні властивості, тобто підвиди кожної ланки другого рівня. Наприклад, для ланки 1-го рівня Завади, одного з її підвидів Види, ланками третього рівня є:

- Гаусів шум;
- білий шум;
- періодичний випадковий шум.

Для підвиду другого рівня Способи проникнення завад:

- шуми, що наводяться на дроти;
- зв'язок через загальний опір;
- електричні та магнітні поля;
- другорядні джерела шумів;
- індустриальні заводи;
- заводи, що створюються іншими учасниками польоту.

На четвертому та нижчих рівнях зображуються можливі режими роботи, методи обчислення, проведення комп'ютерного моделювання, знаходження значень, обчислення систем рівнянь та інше.

Так, наприклад для ланки показників функціональності права частина дерева властивостей має вигляд як показано на рис. 1.

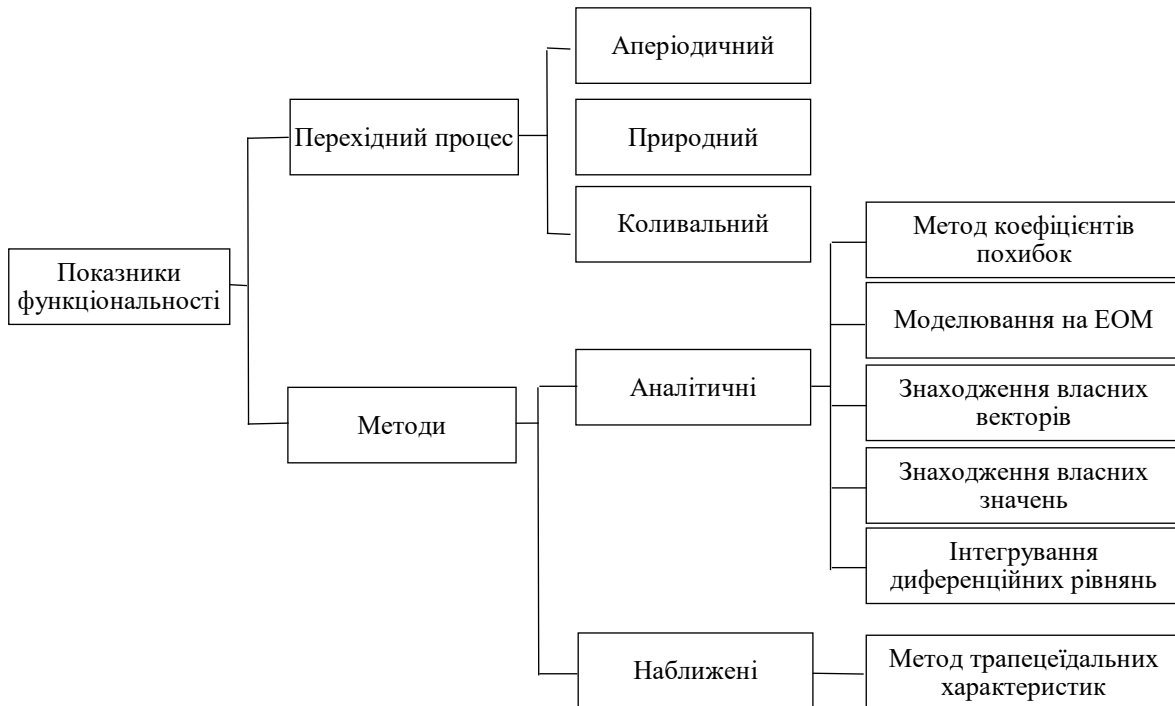


Рис. 1. Ланка показників функціональності дерева властивостей системи передачі даних між бортовим комп'ютером БПС та оператором

В ході дослідження було побудовано дерево властивостей системи передачі інформації між бортовим комп'ютером БПС та оператором, враховано можливість впливу різних факторів на точність та швидкість передачі інформації. Таке графічне представлення розкладає властивості складного об'єкта на сукупність простих одиничних властивостей.

За побудованим деревом властивостей можна визначити оптимальний набір методів та засобів для корекції точності та швидкості передачі інформації між бортовим комп'ютером БПС та оператором.

#### Список літературних джерел

1. Азгальдов Г.Г., Береза Т.Н. Деревья свойств в оценке качества продукции. Часть II. / Препринт # WP/2009/265. – М.: ЦЭМИ РАН, 2009. – 128 с.
2. Грабовський О. В. Філогенетична модель побудови дерева властивостей показників якості / О. В. Грабовський // Вісник інженерної академії України. — 2013. — №1. — С. 225-228

А.В.Рудик, к.т.н., доц.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТОЧІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛАСИЧНОЇ ТА АКСЕЛЕРОМЕТРИЧНИХ ІНЕРЦІАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Ключові слова:** акселерометр, гіроскоп, інерціальна навігаційна система, кутова орієнтація, лінійне прискорення, координата, похибка оцінки, середньоквадратичне відхилення.

В роботі проведено порівняльний аналіз точісних характеристик акселерометричної інерціальної навігаційної системи (АІНС), реалізованої на основі шести і дванадцяти акселерометрів, та класичної ІНС, реалізованої з використанням акселерометрів та гіроскопів.

### 1. Аналіз точісних характеристик класичної інерціальної навігаційної системи (ІНС)

Як показано в [1], основним джерелом похибок сучасних ІНС є низькочастотний (*bias*) і високочастотний (*noise*) шуми акселерометрів ( $b_A, \sigma_A$ ) та гіроскопів ( $b_G, \sigma_G$ ) відповідно. Тому оцінка точісних характеристик проводиться з врахуванням даних параметрів інерціальних сенсорів.

Високочастотний шум сенсора (*noise*) має характеристики “білого шуму” та зазвичай задається спектральною густиною потужності. Якщо показання сенсора інтегруються  $n$  разів, то отримують  $n$ -кратний інтеграл “білого шуму”, для якого підсумкове середньоквадратичне відхилення (СКВ) похибки визначається співвідношенням

$$\sigma_{\Sigma}^2(t) = \frac{\sigma^2 \cdot 2^{n-1} \cdot t^{2n-1} \cdot \Delta t}{(2n-1)!},$$

де  $t$  – час інтегрування;  $\Delta t$  – крок інтегрування.

Низькочастотний шум сенсора має характер випадкового марковського процесу (значення в момент часу  $t_i$  сильно корельовано зі значенням в момент часу  $t_{i-1}$ ). При аналітичному оцінюванні похибок величину  $b$  можна вважати детермінованою, а результат її  $n$ -кратного інтегрування оцінюють як  $b \cdot t^n / n!$ .

З врахуванням двох останніх співвідношень визначення кутової орієнтації зв’язаної системи координат (ЗСК) відносно Земної системи координат інтегруванням показань гіроскопа приводить до появи похибки кутової орієнтації, що визначається як

$$\sigma_{\alpha.IHC}(t) = \sigma_{bias,\alpha}(t) + \sigma_{noise,\alpha}(t) = b_G \cdot t + \sigma_G \cdot \sqrt{t \cdot \Delta t}.$$

Визначення лінійних прискорень, що знімаються з акселерометрів, за рахунок компенсації вектора прискорення сили тяжіння  $G$  приводить до виникнення похибки компенсації вектора гравітації  $\sigma_g(t) = G \cdot \sigma_{\alpha.IHC}(t)$ .

Розрахунок координат при подвійному інтегруванні показань акселерометрів, тобто трансформація його похибок  $b_A, \sigma_A$ , приводить до таких оцінок похибки:

$$\sigma_{r.IHC}(t) = \sigma_{b,r}(t) + \sigma_{noise,r}(t) = \frac{b_G \cdot G \cdot t^3}{6} + \frac{b_A \cdot t^2}{2} + t \cdot \sqrt{\frac{t \cdot \Delta t}{3} \cdot \frac{10\sigma_A^2 + G^2 \cdot \sigma_G^2 \cdot t^2}{10}}. \quad (1)$$

### 2. Аналіз точісних характеристик шестисенсорної АІНС

З врахуванням алгоритму розрахунку навігаційних параметрів, представленого в роботі [2]:

- визначення значень кутової швидкості інтегруванням значень кутового прискорення дає такі похибки:

$$\sigma_G(t) = \frac{b_A \cdot t}{r} + \frac{\sigma_A \cdot \sqrt{t \cdot \Delta t}}{r},$$

де  $r$  – відстань від центру ЗСК до точки установки акселерометрів [2];

- визначення кутової орієнтації інтегруванням значень кутової швидкості приводить до виникнення такої похибки:

$$\sigma_{\alpha.AIHC-6}(t) = \frac{b_A \cdot t^2}{2r} + \frac{\sigma_A \cdot t}{r} \cdot \sqrt{\frac{t \cdot \Delta t}{3}};$$

- визначення лінійних прискорень, що знімаються з акселерометрів, за рахунок компенсації

вектора гравітації, приводить до появи похибки  $\sigma_g(t) = G \cdot \sigma_{\alpha.AIHC-6}(t)$ .

З врахуванням розрахунку координат подвійним інтегруванням значень лінійних прискорень:

$$\sigma_{r.AIHC-6}(t) = \frac{b_A \cdot t^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{g \cdot t^2}{12r}\right) + \sigma_A \cdot t \cdot \sqrt{\frac{t \cdot \Delta t}{3} \cdot \left(1 + \frac{g^2 \cdot t^4}{210r^2}\right)}. \quad (2)$$

Порівняння отриманих співвідношень (1) та (2) показує, що шестисенсорна модель АІНС значно поступається за своїми точнісними характеристиками традиційній ІНС (особливо при тривалому запуску), оскільки показники степеню часу роботи системи  $t$  в (2) вище, ніж в (1).

### 3. Варіант реалізації АІНС на основі дванадцяти акселерометрів

Оцінка точнісних характеристик АІНС суттєво залежить від вибору координат розташування акселерометрів  $r_A$  та орієнтації їх осей чутливості  $\theta_A$ .

При виготовленні та складанні АІНС реальне розташування акселерометрів та орієнтація їх осей чутливості будуть відрізнятися від ідеальних значень. Для врахування даних відхилень використовується процедура початкового калібрування, яка по суті аналогічна процедурі калібрування, представленій в роботі [3] для шестисенсорної АІНС, і виконується за два етапи:

- врахування реальної орієнтації осей чутливості акселерометрів при послідовному встановленні кожної з шести граней АІНС на площину, орієнтовану горизонтально відносно вектора гравітації;

- врахування координат установки акселерометрів при визначенні взаємного розташування акселерометрів, для чого АІНС послідовно встановлюється кожною з шести граней на площину, орієнтовану горизонтально відносно вектора гравітації; дана площина обертається із заданою (еталонною) кутовою швидкістю.

Показання, зняті з акселерометрів при виконанні обох етапів калібрування, обробляються за спеціальною процедурою, яка дозволяє визначити та далі враховувати значення координат розташування акселерометрів  $r_A$  та орієнтації їх осей чутливості  $\theta_A$ .

### 4. Аналіз точнісних характеристик дванадцятисенсорної АІНС

Для даної моделі реалізації АІНС точнісні характеристики визначаються похибками розрахунку кутових швидкостей на основі розподіленої множини акселерометрів, тобто похибкою реалізації так званих “віртуальних гіроскопів”, що має наступні оцінки:

$$b_G = \frac{b_A}{2\omega_0 r}; \quad \sigma_G = \frac{\sigma_A}{2\omega_0 r},$$

де  $\omega_0$  – кутова швидкість обертання об’єкта, на якому встановлена дана АІНС.

В даному випадку похибка кутової орієнтації оцінюється як

$$\sigma_{\alpha.AIHC-12}(t) = \sigma_{bias,\alpha}(t) + \sigma_{noise,\alpha}(t) = \frac{b_A \cdot t}{2\omega_0 r} + \frac{\sigma_A \cdot \sqrt{t \cdot \Delta t}}{2\omega_0 r} = \frac{\sqrt{t}}{2\omega_0 r} \cdot (b_A \cdot \sqrt{t} + \sigma_A \cdot \sqrt{\Delta t}).$$

Провівши перетворення, аналогічні перетворенням при аналізі точнісних характеристик шестисенсорної АІНС, отримаємо підсумкове співвідношення для оцінки похибки розрахунку координат на основі даної дванадцятисенсорної моделі АІНС:

$$\sigma_{r.AIHC-12}(t) = \frac{b_A \cdot t^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{g \cdot t}{12\omega_0 r}\right) + \sigma_A \cdot t \cdot \sqrt{\frac{t \cdot \Delta t}{3} \cdot \left(1 + \frac{g^2 \cdot t^2}{40\omega_0^2 r^2}\right)}. \quad (3)$$

Порівняння співвідношень (3) та (1) показує, що отримана похибка АІНС буде сумірною з похибкою класичної ІНС.

Таким чином, дванадцятисенсорна АІНС за своїми точнісними характеристиками практично еквівалентна класичній ІНС. Однак реалізація даного варіанту АІНС на основі тільки акселерометрів є значно більш простою і технологічною при мікроелектронному виконанні.

### Список літературних джерел

1. Merhav, S. J. Aerospace Sensor System and Applications. Chap. 6. Coriolis Angular Rate Sensors [Text] / S. J. Merhav // Springer-Verlag, New York. – 1996. – Vol. 5. – № 3. – pp. 227-235.
2. Soloviev, A. N. Initial Attitude Determination and Correction of Gyro-Free INS Angular Orientation Parameters [Text] / A. N. Soloviev, K. S. Mostov, T. J. Koo // IEEE Intelligent Transportation System Conference Proceedings. – November 12-21, 1997. DOI: 10.1109/ITSC.1997.660616.

**В.В. Герасимов, кандидат фіз.-мат. наук, доцент; О.О. Молнар, кандидат фіз.-мат. наук, доцент; І.П. Курітник, доктор технічних наук, професор**

### **ТЕНДЕНЦІ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ «РОЗУМНОГО ОДЯГУ»**

Ключові слова : розумний одяг, мікроконтролер, сенсор, електричне живлення, альтернативне джерело енергії, сегнетоелектрик.

Сьогодні характеризується стрімким розвитком та розповсюдженням інформаційно-комп'ютерних технологій у всі сфери людської діяльності, починаючи від технологічних систем виробництва до побуту – смартфон, розумний дім, тощо. Сучасні технології повинні полегшувати життя людини робити його більш комфортнішим та безпечнішим. Особливу роль в цьому відіграє так званий «розумний одяг». Розвитку даній технічній системі в останній час приділяється значна увага, і перш за все спецодезю. Існують ряд професій, де специфіка виконання професійних обов'язків службовцем вимагає наявності у спецодезді певних захисних та функціональних елементів. Прикладом таких професій може служити пожежник, військовий, полісмен, тощо. Впровадження активних електронних компонент в даний одяг значно покращує його функціональні характеристики[1]. Розвиток сучасної бази електронних компонент, їх доступність та характеристики функціонування сприяють появі нових розробок в даній галузі. Авторами акцентується увага на впровадженні останніх досягнень в області мікроконтролерних та сенсорних технологій на об'єкти системи «людина-одяг».

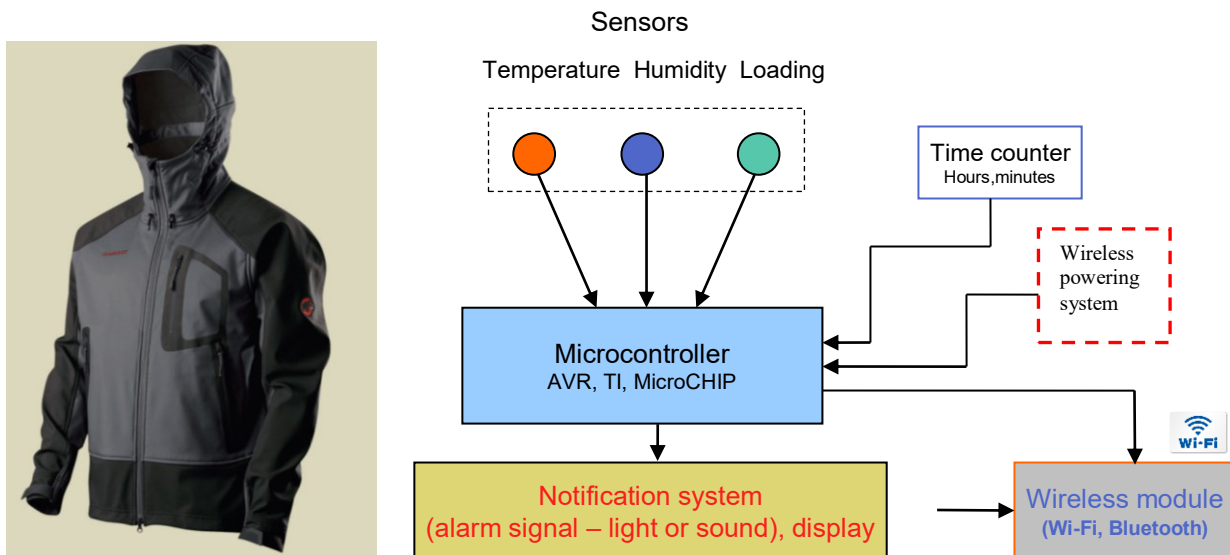


Рис. 1. Реалізація сучасної системи розумного одягу

Реалізація сучасної технічної системи «розумний одяг» передбачає розміщення цілого ряду сенсорів різного типу на поверхні та всередині одягу (рис.1). Передача інформації від сенсорів до головного модуля обробки інформації (ГМОІ) здійснюється через дротові магістралі, які розташовуються у відповідних ділянках одягу. Причому слід зазначити що, вибір провідників, їх прокладка та технологія кріплення становить певну і досить складну технічну задачу. Наступним і важливим кроком реалізації даної технічної системи є модуль обробки та передачі інформації, який знаходиться безпосередньо на одязі або кріпиться у будь-якому зручному місці, як окремий виносний елемент. Даний модуль містить у собі:

- Аналогові компоненти підсилення, фільтрації та масштабування сигналів з датчиків;
- Аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі;
- Керуючий мікропроцесор або мікроконтролер (МК);
- Інтерфейсів зв'язку з керуючим комп'ютером (USB, Bluetooth, Wi-Fi);
- Системи енергозабезпечення аналогових і цифрових кіл;
- Пристроїв виведення та візуалізації інформації.

Для систем переносної електроніки (до якої відносять і систему «розумного одягу») пред'являються підвищені вимоги по енергоефективності, можливості роботи від одного полярного джерела живлення, роботи у широкому діапазоні робочих температур (особливо для служб порятунку і військового екіпування), а також оптимального співвідношення швидкодія/потужність. Якщо для датчиків і аналогових вхідних пристроїв дані умови були реалізовані відносно давно, то цифрові компоненти лише порівняно недавно досягли необхідного рівня розвитку [2].

Одним з найбільш енергоефективних рішень в області портативної електроніки слід вважати мікроконтролери серії MSP430FRxx фірми Texas Instruments [3]. Вони створені спеціально для додатків з наднизьким енергоспоживанням. Дані мікроконтролери мають гнучку систему синхронізації, кілька режимів пониження енергоспоживання, можливість моментального переходу в активний стан і інтелектуальний набір автономної периферії, що дозволяє досягти значної економії електроенергії і суттєво збільшити термін служби батареї.

Авторами також приділяється значна увага розробці систем автономного живлення на основі альтернативних джерел енергії реалізованих в системі «одяг-людина». Перш за все це теплова енергія тіла людини. Людське тіло є величезним сховищем енергії [4]. Середня людина вагою в 68 кг і з 15% жирових запасів містить таку кількість енергії, яка достатня для забезпечення 4-х кімнатної квартири електрикою протягом 2,67 днів. Це вказує на те, наскільки добре наше тіло діє як система зберігання потенційної енергії. Також, ефективним та перспективним джерелом енергії для локальної системи можуть виступати трибоелектричні генератори [5], технологія виготовлення яких базується на багато коміркових структурах, всередині яких знаходиться порошкоподібний наноструктурований сегнетоелектрик типу  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ . Такий генератор забезпечує перетворення механічної енергії (багатовекторного) руху людини у змінний електричний струм, який за допомогою електронної системи, т. з. «energyharvester» з використанням іоністрів (супер конденсаторів) ємністю 1-5 Ф, стабілізується до необхідної величини [6].

#### Список літературних джерел

1. Телеметричний пристрій оцінки комфортності одягу / Молнар Олександр Олександрович (UA), Герасимов Віталій Вікторович (UA), Куритнік Ігор (PL) // UA 115671 МПК G01N 33/36 (2006.01), 25.04.2017, Бюл.№ 8.
2. The Development of Monitoring Devices in the „Man-Clothes” System Based on Modern Microcontrollers / Alexander Molnar, Vitaly Gerasimov, Igor Piotr Kurytnik // *Pomiary Automatyka Robotyka*, R. 20, Nr 2/2016, 11–15 p.
3. Электронный ресурс: [http://www.ti.com/lscds/ti/microcontrollers\\_16-bit\\_32-bit/msp/ultralow\\_power/overview.page](http://www.ti.com/lscds/ti/microcontrollers_16-bit_32-bit/msp/ultralow_power/overview.page)
4. Starner T., & Paradiso A., 2005. Human Generated Power for Mobile Electronics, Georgia Tech, Atlanta, GA, USA.
5. Vitaliy Gerasimov, Alexander Molnar, Perspective elements (sources) of accumulating electric energy for portable devices. International Joint Conference on Environmental and Light Technologies, 19-20 November 2015, Budapest, Hungary, p. 100.
6. Пьезоэлектричество как источник электроэнергии для портативных электронных устройств в системе «человек–одежда» / А.А.Молнар, И.П.Куритник, В.В.Герасимов, Д.Ж.Карабекова // Вестник карагандинского университета, Серия Физика. – 2015. – с. 62–65.

В.Ю. Кучерук, д.т.н., професор, М.В. Глушко, магістр, О. Митковський

## ПОКРАЩЕННЯ АЛГОРИТМУ ІТЕМТОІТЕМ МЕТОДУ КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ДЛЯ РОЗРОБКИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ ШЛЯХОМ ОЦІНКИ РЕЛЕВАНТНОСТІ

Ключові слова: колаборативна фільтрація, itemtoitem, косинус, вектор, матриця

Рекомендаційна система- підклас системи фільтрації інформації, яка будує рейтинговий перелік об'єктів, яким користувач може надати перевагу. Існують дві основні стратегії створення рекомендаційних систем: фільтрація вмісту і колаборативна фільтрація. В даній науковій роботі використовується колаборативна фільтрація.

Колаборативна фільтрація - метод, який використовується деякими рекомендаційними системами. Колаборативна фільтрація має два значення: вузьке і більш загальне. В цілому, колаборативна фільтрація— процес фільтрації інформації або зразків за допомогою методів за участю співробітництва між декількома агентами, точками зору, джерелами даних і т.д. Застосування колаборативної фільтрації, як правило, пов'язане з дуже великими наборами даних. В нашому випадку колаборативна фільтрація - це один з методів побудови прогнозу рекомендаційних систем, який використовує відомі переваги (оцінки предметів, дії, поведінку) групи користувачів для прогнозування невідомих переваг іншого користувача. Основне припущення колаборативної фільтрації полягає в наступному: ті, хто однаково оцінювали будь-які предмети в минулому, схильні давати схожі оцінки інших предметів і в майбутньому.

Для прогнозування за допомогою алгоритму itemtoitem потрібно використати предмет, на відмінну алгоритму «usertouser», який прогнозує на основі вподобань користувачів. Предмет – це змінна, яка позначається як «0» - предмет не виконаний, або як «1» - предмет виконаний. Змінна предмету може являти певну дію, зроблену з товаром на сайті: найпопулярніші застосування предмету це оцінка товару, або його покупка. Тобто, якщо користувач купує товар, то його значення предмету = 1. Всі користувачі, які купили товар – об'єднують в когорті (групи людей, схожі між собою за певними ознаками, поведінкою, і вже новому користувачу, який буде відвідувати сторінку певного товару – йому запропонується товар, найбільш схожий на той, який він переглядає, на основі вподобань користувачів.

Інтуїтивно зрозуміло, що для рекомендації користувачеві №1 будь-якого продукту, вибрати потрібно з продуктів, які подобаються якимось користувачам 2-3-4-п., Які найбільш схожі за своїми оцінками на користувача №1. Отримати чисельне вираження цієї «схожості» користувачів можемо за допомогою векторів в N-вимірному просторі продуктів, а порівнювати вектора ми можемо наступними відомими методами:

- Косинусна міра
- Коефіцієнт кореляції Пірсона
- Евклідова відстань
- Коефіцієнт Танімото
- Манхеттенський відстань і т.д.

Далеко не завжди у користувачів є можливість виставляти оцінки предметів. Тобто для колаборативної фільтрації можуть бути доступні лише двійкові дані (купував користувач предмет чи ні). Проте даний алгоритм не враховує релевантність (відповідність до пошукового запиту) сторінки для користувача. Тобто якщо людина потрапляє на сторінку товару на веб-ресурсі, даний алгоритм не знає чи задовольняє цей товар користувача, чи ні. Оскільки він реагує тільки на оцінку товару або на його покупку. По статистиці в світі – відсоток конверсії на сайтах становить всього 2-3%. Тобто, рекомендаційна система обробляє тільки 2-3% даних для видачі інформації.

Тому в цій роботі розроблений алгоритм, який враховує релевантність сторінки для 100% користувачів, і на основі цього рекомендує. Суть алгоритму полягає в тому, що замість покупки чи оцінки товару, ми, присвоюючи кожному користувачу (User) – ідентифікатор (ID), запускаємо таймер при перегляді URL-сторінки оголошення (карточка товару). Якщо при цьому, користувач перебуває на сторінці більше 15 секунд, то ця сторінка вважається релевантною, якщо менше, то ні. ( $t > 15 \text{ сек.} = 1$ ,  $t < 15 \text{ сек.} = 0$ )

Спочатку даний алгоритм розраховував подібність предметів як косинус між векторами покупок в матриці користувачів та предметів. (2-3%)

Розглянемо роботу алгоритму на прикладі статистики, де за предмет – приймається час перегляду URL-сторінки оголошення:

Користувач	Предмет 1	Предмет 2	Предмет 3
Віктор	1	0	1
Микола	0	1	1
Марія	0	1	0

В цьому випадку косинус між «Предмет 1» і «Предмет 2» розраховується так:

$$\frac{(1,0,0) \cdot (0,1,1)}{\|(1,0,0)\| \cdot \|(0,1,1)\|} = 0;$$

між «Предмет 1» і «Предмет 3»:

$$\frac{(1,0,0) \cdot (1,1,0)}{\|(1,0,0)\| \cdot \|(1,1,0)\|} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,71;$$

і між «Предмет 2» і «Предмет 3»:

$$\frac{(0,1,1) \cdot (1,1,0)}{\|(0,1,1)\| \cdot \|(1,1,0)\|} = \frac{1}{2} = 0,5.$$

Таким чином, користувач, що знаходиться на сторінці опису «Предмету 1», отримає «Предмет 3» в якості рекомендації; на сторінці «Предмету 2» - «Предмет 3» і на сторінці «Предмету 3» - «Предмет 1» (і потім «Предмет 2»). В даному алгоритмі використовується один коефіцієнт на кожен пару предметів (косинус), на підставі якого і створюються рекомендації. Тобто для n предметів буде потрібно розрахувати і зберегти n (n-1) / 2 косинусів.

Отже, робота алгоритму буде проходити в декілька етапів, оскільки спочатку потрібно визначити значення «предмету», яке буде дорівнювати переглянутій сторінці URL оголошення, на якій користувач перебуває не менше 15 секунд, цим самим оцінюючи релевантність сторінки до пошуку користувача. Тільки після визначення таких відбуваються подальші обрахунки із знаходження косинусної міри, при якій береться до уваги 100% інформації про інтереси користувачів, цим самим покращуючи алгоритм ItemtoItem методу колаборативної фільтрації для розробки рекомендаційних систем шляхом оцінки релевантності.

#### Список літературних джерел:

1. Рекомендаційна система [Електронний ресурс] // uk.wikipedia.org. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0\\_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0).
2. Коллаборативная фильтрация [Електронний ресурс] // habrahabr.ru. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <https://habrahabr.ru/post/150399/>.
3. SlopeOne [Електронний ресурс] // en.wikipedia.org. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Slope\\_One](https://en.wikipedia.org/wiki/Slope_One).



**В.Ю. Кучерук, д.т.н., проф.; Р.І. Ліщук, к.т.н.**

## **АРХІТЕКТУРА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ СТРІЛОЧНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ**

Ключові слова: розпізнавання, веб-камера, персональний комп'ютер, тестовий сигнал, бінаризація, стрілочний прилад, випробування.

Сучасний рівень інформаційно-вимірювальних систем з використанням засобів технічного зору дають широкі можливості автоматизації випробувань стрілочних вимірювальних приладів.

На сьогодні в галузі автоматизації перевірки стрілочних вимірювальних приладів склалося два напрямки, що відрізняються по методу розв'язку задачі, але досягаючи приблизно однакових результатів. До першого напрямку відносяться методики оптичного розпізнавання показів приладу, які не зв'язані з шкалою [1,2]. До другого напрямку можна віднести методики, що здійснюють безпосереднє зчитування показів зі шкал приладів засобами технічного зору [3,4].

Основними складовими інформаційно-вимірювальної системи є: комп'ютер з пакетом прикладного програмного забезпечення; джерело тестового сигналу, яке керується оператором; стенд для розміщення приладів, що перевіряються; відеоблок; принтер для друкування висновку протоколів перевірки (рис. 1).

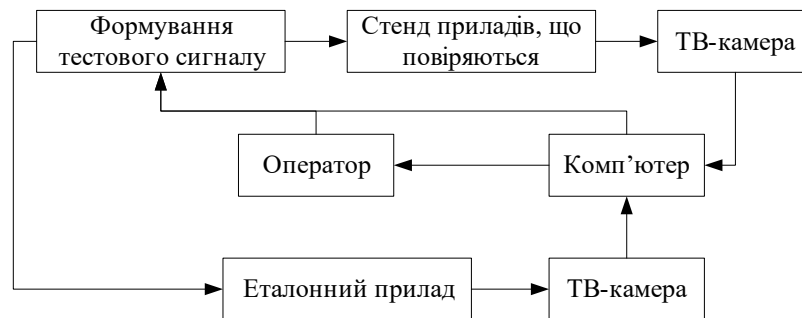


Рис. 1 Складові інформаційно-вимірювальної системи

Формування тестового сигналу здійснюється залежно від наявності програмно-керованих засобів – автоматично по заданій програмі, або оператором, по запиту програми за допомогою еталонного приладу з ручним керуванням. У свою чергу, при використанні програмно-керованого генератора тестового сигналу, що не має достатнього метрологічного запасу стосовно приладу, що перевіряється, значення тестового сигналу визначається по еталонному приладу автоматично за допомогою додаткової тв-камери. Таким чином, відповідно до різних видів вимірювань розроблена універсальна інформаційно-вимірювальна система, що забезпечує перевірку стрілочних приладів, як по методу еталонного сигналу, так і по методу еталонного приладу.

Для реалізації розробленої методики було синтезовано структуру інформаційно-вимірювальної системи для випробувань стрілочних вимірювальних приладів (рис. 2).

Інформаційно-вимірювальна система для випробувань стрілочних вимірювальних приладів включає в себе апаратні й програмні компоненти. Апаратна частина складається з персонального комп'ютера, веб-камери та генератора випробувальних сигналів.

Достатні вимоги до ПК:

- Двоядерний процесор Intel Celeron E3400 2.6GHz.
- Оперативна пам'ять 2GB.
- НЖДМ 500GB.

Основними характеристиками веб-камери є роздільна здатність та частота кадрів за секунду. Майже всі типові веб-камери мають частоту 30 кадрів за секунду. Аналізуючи характеристик веб-камер можна побачити, чим буде вища її роздільна здатність, тим буде більший об'єм зображення, що призводить до збільшення затрат часу на оброблення зображення. Коли використовувати веб-камеру з роздільною здатністю 1280x1024 зі збереженням попередніх налаштувань (24 бітна RGB модель та формат графічних файлів BMP) маємо, розмір графічного файлу складає близько 4 Мб, що є у 4 рази більше в порівнянні з веб-камерою на 0,3 Мп. Тому рекомендовано використовувати веб-камеру роздільною здатністю 640x480 пікселів та частотою 30 кадрів за секунду або більшою.

Генератор випробувальних сигналів керує випробувальним сигналом. Він побудований на мікроконтролері АТmega8.

У генераторі випробувальних сигналів реалізовано вибір режиму роботи:

- тестування стрілочних індикаторів, призначених для візуалізації вимірних значень струму (амперметрів);
- тестування стрілочних індикаторів, призначених для візуалізації вимірних значень постійної та змінної напруги (вольтметрів);
- тестування стрілочних індикаторів, призначених для візуалізації вимірних значень опору (омметрів).

Для формування струмового тестового сигналу використано високо-амперний операційний підсилювач LTC1210 із схемою включення, що дозволяє формувати струм до 10 А.

Для формування постійної та змінної напруги (до 140 В) використовується високовольтний операційний підсилювач LT6090.

Задання величини опору для тестування омметрів здійснюється через цифровий потенціометр TPL0102. Величина опору може змінюватися до 100 кОм. Можна розширити вимірювальний діапазон тестового омметра шляхом підключення додаткового резистора до 30 МОм.

Програмна частина складається з програмного забезпечення, що дозволяє розпізнавати покази зі шкал стрілочних вимірювальних приладів.

У результаті виконання даного методу синтезуємо структуру інформаційно-вимірювальної системи для випробувань стрілочних вимірювальних приладів, що дозволяє проводити випробування в статичному та динамічному режимах роботи.

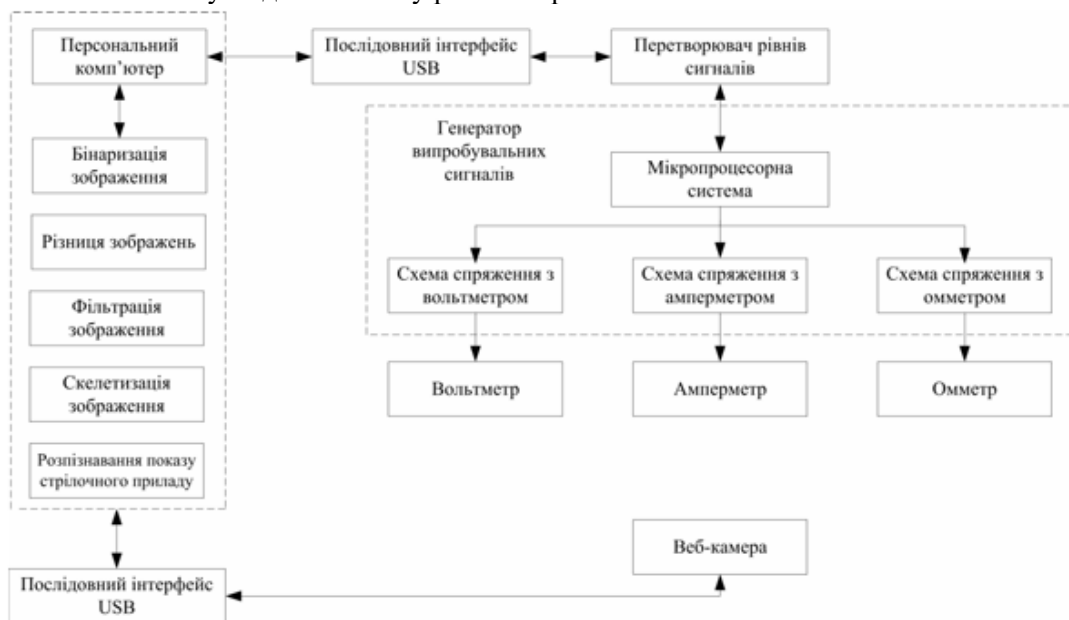


Рис. 2 Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи для випробувань стрілочних вимірювальних приладів

Список літературних джерел:

1. А.с. 1377792 Способ определения градуировочной характеристики электромагнитного измерительного механизма/ В. А. Мишин. Оpubл. в Б.И., 1988, №8.
2. Мишин В. А. Теория, разработка и исследование стрелочных электроизмерительных приборов как активных объектов автоматизации производства на этапах регулирования и контроля. Диссертация. д. т. н. по специальности 05.11.05 Ульяновск, 1987 - 466 с.
3. Свинолулов Ю. Г. Аппаратно-программный комплекс для поверки стрелочных измерительных приборов: Тез. доклада Второго Всесоюзного совещания по точным методам измерения напряжения, тока и мощности / Свинолулов Ю. Г., Войтко В. П., Удут Д. Л. - Санкт-Петербург, 1986. - 65-67с.
4. Свинолулов Ю.Г. Автоматизированные установки для поверки и градуировки стрелочных приборов / Свинолулов Ю.Г., Седов Э.Н. // ПСУ. - 1995. - № 2. - С.30-34.

**В.Т. Дмитрів, д.т.н., Б.С. Красниця, аспірант, І.В. Дмитрів, к.т.н., Ю.М. Лаврик, к.т.н.**

## **МІКРОПРОЦЕСОРНІ МОДУЛІ АДАПТИВНОЇ КІБЕР-ФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА МОЛОКА**

**Ключові слова:** мікропроцесорний модуль, функціональний блок, параметри, автоматизована система управління, доїльний апарат, частота пульсацій

Виробництво молока складається із сукупності технологічних процесів, є багатосторонньою і складною системою. Для реалізації адаптивної кібер-фізичної системи процесу виробництва молока, що забезпечить управління та створення автоматизованої інформаційно-аналітичної системи (АІАС) розглянемо кінцевий ланцюг у виробництві молока – технологічний процес машинного доїння корів, який є одним із основних, так як основний потік інформації про кількісні і якісні параметри системи отримуємо в процесі машинного доїння. Розглянемо основні параметри, які можна отримати при технологічному процесі машинного доїння корів, і які складають невід'ємну частину АІАС машинного доїння корів. [1-3]

1. Найбільш використовуваний показник АІАС при машинному доїнні корів – інтенсивність молоковіддачі і тривалість доїння корови. Параметр інтенсивності молоковіддачі тварини є вихідним при визначенні кількості надоеного молока за доїння, добу, декаду, місяць, лактацію, рік від кожної тварини і в цілому по стаді.

Параметр інтенсивності молоковіддачі є основним для режиму роботи доїльного апарата, який формується вакуумметричним тиском в піддійковому просторі доїльного стакана, частотою пульсації, співвідношенням тактів, моментом часу машинного додоювання і завершення доїння.

2. Оцінюючими параметрами стану вимені корови і її здоров'я в цілому є показники температури видоеного молока з четвертей вимені, електропровідність молока, наявність крові в молоці.

Передоцінюючими факторами стану вимені тварини можуть бути технічний стан доїльного апарату і його складових елементів, технологічних параметрів вакуумметричного тиску доїльних установок, а також дотримання технології машинного доїння.

3. Загальні технологічні параметри доїльних установок, характеризують технічний стан основних вузлів і систем і для АІАС потрібна наявність датчиків стану вакуумметричного тиску, виробництва вакуумної установки, датчиків місця тварин, стану фільтра очистки молока, молочного насосу і інших систем, що є невід'ємною частиною доїльної установки.

Першочерговою, при збиранні інформації, обміну даними між оператором машинного доїння (ОМД) і доїльним апаратом з мікроконтролером, є ідентифікація корови, яка також необхідна при годівлі.

Розроблені нами принципово нові електронно-механічні блоки модульного типу із застосуванням мікропроцесорної техніки об'єднані в систему, яка дозволяє здійснювати виконавчі, інформаційні, контролюючі і діагностичні функції та складає одне ціле кібер-фізичної системи і АІАС машинного доїння в молочному тваринництві [1; 4; 5]. При розробці такої системи реалізовані нові підходи синтезу розроблених елементів з можливістю автономного функціонування (з використанням однокристальних мікроконтролерів типу K1816BE48 та мікропроцесорів AT8335 (фірми Atmel) на рівні самоаналізу як технічної системи, так і біологічного об'єкту, з якими вони взаємодіють, а також можливістю функціонування в режимі установки граничних режимів від центрального комп'ютера.

В склад кібер-фізичної системи входять програмні і апаратні модулі. До програмних модулів відносяться програми управління технологічними об'єктами, формування і управління базами даних, моделювання якісних і кількісних параметрів технологічного процесу машинного доїння. До апаратних модулів відносяться вже досліджені і апробовані модулі, які управляються центральним комп'ютером: автоматизований доїльний апарат з мікропроцесорним управлінням, термоанемометричним вимірювачем інтенсивності молоковіддачі і можливістю регулювання частоти пульсації, співвідношення тактів і вакуумметричного тиску в піддійковому просторі, зміною температури і електропровідності молока [1-10]; автоматизована вакуумна установка [1]; автоматизований індивідуальний роздавач-дозатор комбікормів [11]; система інтелектуальних сенсорів тиску [1]; інтерфейс модульного типу з системою шиною АІАС МД, через який

під'єднані до центрального комп'ютера формувач твариномісця, автоматизовані доїльні апарати, система сенсорів і виконавчих клапанів, індивідуальний автоматизований роздавач-дозатор комбікормів [1];

Розроблені мікропроцесорні модулі забезпечують: 1) збір, кодування, передачу, обробку і зберігання технологічної інформації; формування бази даних і управління нею; оптимальне управління технічними засобами і модулями; вирішення оптимізаційних задач, що використовуються при керуванні системою виробництва молока; представлення технологічної інформації на робочому місці менеджера і оператора машинного доїння; ведення і представлення твердих копій технологічної документації; 2) інформаційні функції системи забезпечуються в автоматичному режимі: збір інформації про динаміку інтенсивності молоковіддачі корови і її максимальне значення; значення величини індивідуальних разових надоїв; фізичний час початку доїння, машинного додоювання і кінця доїння корови; час появи максимальної інтенсивності молоковіддачі; частота пульсації і співвідношення тактів; вакууметричний тиск в піддійковому просторі доїльних стаканів; вакууметричний тиск в технологічних точках вакуумної магістралі та керування вакуумною установкою; управління молочним насосом за станом геркону молокозбірника; збір інформації про стан молочного фільтру; збір інформації про температуру молока на виході з охолоджувача та керування; збір інформації про стан клапанів і керування процесом промивки доїльної установки; передача даних індивідуальному роздавачу-дозатору комбікормів; кодування обробленої інформації відповідно до твариномісця; формування бази даних і знань, доповнення їх оперативною інформацією; відображення інформації на робочому місці ОМД.

### Список літературних джерел

1. Дмитрів В.Т. Механіко-технологічні основи систем доїльних установок. Теорія та практика: монографія / В.Т. Дмитрів. – Львів :Сполом, 2017. – 350 с.
2. Дмитрів В.Т. Система параметрів автоматизованої інформаційно-аналітичної системи машинного доїння / В.Т. Дмитрів // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Вип. 42. “Вдосконалення технологій і обладнання виробництва продукції тваринництва і птахівництва” – Харків: ХНТН ім. П. Василенка. – 2005. - С. 126-131.
3. Дмитрів В. Т. Автоматизована інформаційно-аналітична система машинного доїння корів / В. Т. Дмитрів // 36. наук. пр. Луганського національного аграрного університету : технічні науки. – Луганська: В-цтво ЛНАУ, 2007. – № 76 (99). – С. 106-114.
4. Дмитрів В.Т. Енергоощадний пневмоелектромагнітний пульсатор автоматизованого доїльного апарата. Теорія та експеримент: монографія / В.Т. Дмитрів, В.В. Адамчук, Ю.М. Лаврик, І.В. Дмитрів. - Львів : Сполом, 2016. – 180 с.
5. Адамчук В.В. Адаптивний мікропульсатор автоматизованого доїльного апарата. Теорія та експеримент : монографія / В.В. Адамчук, В.Т. Дмитрів, І.В. Дмитрів, Ю.М. Лаврик. - Львів : Сполом, 2016. – 152 с.
6. А.с. 1783303 СССР, МКИ G01F1/68. Тепловой измеритель количества молока / В.М. Сиротюк, В.Ю. Воробкевич, В.Т. Дмытрев и др. - № 4872042-10; Заявл. 12.07.90; Опубл. 23.12.92, Бюл. №47. -17 с.
7. Дмитрів В.Т. Термоанемометричний вимірювач пульсуючих потоків двофазних середовищ / В.Т. Дмитрів, І.В. Дмитрів, І.І. Максимів // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – Львів. Львів. національний агроуніверситет, 2013.- № 17. - С. 71-79.
8. А.с. 1764587 СССР, МКИ A01J7/00. Устройство для диагностики мастита / В.Т. Якимец, В.Т. Дмытрев, Б.Ю. Галицкий . - № 4714376 - 15; Заявл. 0.,07.89; Опубл. 30.09.92, Бюл. № 36. - 5 с.
9. А.с. 1692416 СССР, МКИ A01J7/00, GO 1 N27/08. Устройство для диагностики мастита / В.Т. Якимец, В.М. Сиротюк, В.Т. Дмытрев и др. - № 4738331-15; Заявл. 21.06.89; Опубл. 23.11.91, Бюл. №43. - 4 с.
10. Дмитрів В.Т. Уніфікований термоанемометричний вимірювач інтенсивності молоковіддачі стосовно АСУ ТП машинного доїння корів / В. Т. Дмитрів // Механізація та електрифікація сільського господарства.: міжвідом. темат. наук. зб. – Глеваха : ННЦ “ІМЕСГ”, 2005. – Вип. № 49. – С. 368-373.
11. Пат. 52059А Україна, МКІ А01К5/02. Дозатор сипучих матеріалів / В.І. Банта, Я.С. Жінчин, В.Т. Дмитрів і ін - № 2002010755; Заявл. 30.01.02; Опубл. 16.12.02. Бюл. № 9. - 4 с. УДК 669.10

**В.Ю. Кучерук, д.т.н., проф.; В.П. Романєва, ТС «Винахідник»; І.А. Дудатьєв, к.т.н.**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ МОБІЛЬНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НА**  
**БАЗІ ОСВІТНЬОГО ПАКЕТУ LEGO MINDSTORMS**

**Ключові слова:** засіб контролю, сенсори, LegoMindstormsNXT.

**Основна частина.** Структура автоматизованої технічної системи як інформаційно-вимірювальної системи LegoMindstormsNXT [1] представлена на рис. 1.



Рис.1. IBC LegoMindstormsNXT

Серводвигун NXT – це поєднання електродвигуна, редуктора і датчика обертання, що об'єднано в одному корпусі своєрідної форми. Зовнішній вигляд сервомотору NXT представлено на рис. 2.



Рис. 2. Сервомотор NXT

Малогабаритні двигуни постійного струму зазвичай обертаються дуже швидко і мають не дуже велику потужність на валу, тому немає особливого сенсу підключати їх безпосередньо до коліс або інших механізмів. Щоб знизити швидкість обертання і водночас збільшити крутний момент, зазвичай використовують будь-якої редуктор. Редуктор серводвигуна містить вісім шестернь і має сумарне передавальне відношення 1: 48 [4].

Дотик і відчуття тиску робота може бути реалізовано за допомогою датчика торкання (Touch Sensor). Він являє собою кнопку, у якій можливо два стан - «Натискання» і «Відпущено». Програмно датчик розпізнає ще один стан «Bumpred». Схема і зовнішній вигляд датчика торкання NXT представлено на рис. 3.

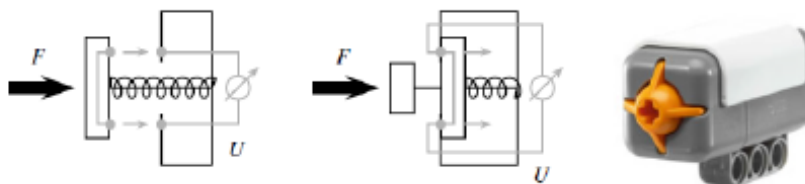


Рис. 3. Схема і зовнішній вигляд датчика торкання NXT

Датчики торкання зазвичай використовуються в роботах для виявлення перешкод на шляху прямування, що дозволяє роботу уникати зіткнень. Більш досконалі датчики дотику і тиску використовуються в конструкціях рук і кистей. Такі датчики дозволяють «руці» робота захоплювати і утримувати предмети з достатнім зусиллям без ризику їх пошкодження.

Ультразвуковий сенсор (UltrasonicSensor) наділяє робота здатності бачити і розпізнавати об'єкти, уникати перешкоди, вимірювати відстані і виявляти рух. Відстань за допомогою даного

сенсора вимірюється в сантиметрах і дюймах. Діапазон вимірювань становить від 0 до 2,5 м з точністю в  $\pm 3$  см.

Функціональна схема та зовнішній вигляд датчика відстані NXT представлено на рис. 4.

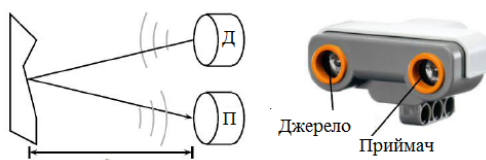


Рис. 4. Функціональна схема датчика відстані. Зовнішній вигляд датчика відстані NXT

Сенсор освітленості. У режимі вимірювання відбитого кольору (відбите світло), крім світлочутливого елемента, активується світло-елемент (світлодіод). Світло, випущене цим елементом, відбивається від якої-небудь поверхні і потрапляє назад в світлочутливий елемент [3]. Функціональна схема та зовнішній вигляд сенсора освітленості представлено на рис. 5.

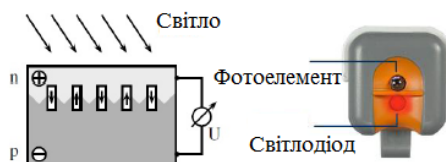


Рис.5. Функціональна схема та зовнішній вигляд сенсора освітленості

Різні типи режимів виміру освітленості датчиком світла представлено на рис. 6.

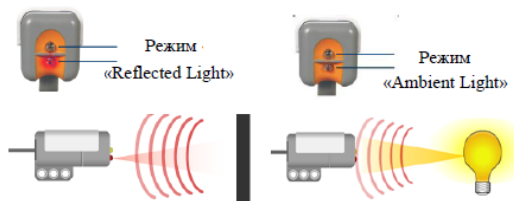


Рис. 6. Режими виміру освітленості датчиком світла

Датчик звуку являє собою мікрофон, він вимірює рівень гучності звукового сигналу в *дБА* (звуки діапазону 20-20000 Гц, що сприймаються вухом людини) і *дБ* (весь діапазон, включаючи інфразвук (20 Гц і нижче) і ультразвук (понад 20 000 Гц)). Максимальний звуковий тиск, який може виміряти датчик – близько 90 *дБ*, що відповідає гучності газонокосарки. Показання датчика звуку виражаються в процентах % від максимальної гучності, яку він здатний зафіксувати. Функціональна схема та зовнішній вигляд датчика звуку представлено на рис. 7.

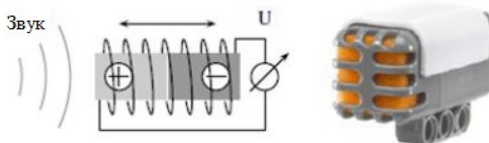


Рис. 7. Функціональна схема датчика звуку. Зовнішній вигляд датчика звуку

Технічна студія «Винахідник» - це міжнародна мережа освітніх центрів, де навчаються діти 3-16 років. Курси розроблені методистами студії за допомогою навчальних конструкторів LEGO з унікальною комплектацією Технічної студії «Винахідник». Вінниця І. Бойка, 15. Тел. для довідок (0432)55-78-48, (0432)55-78-49, 068-553-00-48, 063-306-46-41. E-mail: <http://vynahidnyk.org/vinnitysa-boika/>

#### Список літературних джерел

1. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия: основы, техника, аналитическое применение / Смит А. — М.: Мир, 1982. — 328 с.
2. Белиовская Л.Г. Програмуємо мікрокомп'ютер NXT в LabVIEW / Л.Г. Белиовская, А.Е. Белиовский. – М.: ДМК Пресс, Москва, 2010. – 280 с.
3. Extreme NXT: Extending the LEGO Mindstorms NXT to the Next Level / M. Gasperi, P.E. Hurbain, I.L. Hurbain. – Apress, 2007. – 286 p.
4. Sluka J. A PID Controller For LEGO® Mindstorms Robots (Part 1) / J. Sluka // Hispabrick Magazine EnglishEdition. – P. 20 – 26.

**В.В. Паракуда, к.т.н., доц., Б.І. Стадник Б.І., д.т.н., проф., Н.С. Гоц д.т.н., проф.**

## **METROLOGY 4.0, ЯК АКТУАЛЬНИЙ НАПРЯМОК РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ**

Ключові слова: інформаційно вимірювальні системи,

Ініціатива промисловців Німеччини про масове впровадження виробничі процеси та сфери життєдіяльності людиникібер-фізичних систем, застосування значної кількості сенсорів для отримання вимірювальної інформації, зростання рівня автоматизації, аналізу даних для прийняття рішень, широкого обміну даними з використанням промислового Інтернету отримало назву четвертої технологічної революції, а саме Industry 4.0. Це спричинює виникнення абсолютно нового типу промислового виробництва, яке базуватиметься на отриманні та опрацюванні великих баз даних, їх аналізі, повній автоматизації виробничих та побутових процесів, Інтернеті речей.

Результатом цього є розширення об'ємів вимірювань, які охоплюють різні сфери життя людини, промисловість, ринок праці, людську ідентичність, побут та ін.

Отже відбувається формування нового поняття в галузі вимірювань та метрології, а саме поняття Metrology 4.0, що можна розглядати, як широке впровадження інтелектуальних інформаційно-вимірювальних систем у всіх галузях виробництва та життєдіяльності людини.

Це призводить до виникнення та посилення проблем, пов'язаних з забезпеченням достовірності результатів вимірювань, методами опрацювання вимірювальної інформації, формування баз даних вимірювань, методам аналізу та формуванню нових вимог до метрологічного забезпечення таких інтелектуальних інформаційно-вимірювальних систем.

Під інтелектуальною інформаційно-вимірювальною системою (ІВС) розуміємо сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних, обчислювальних та інших допоміжних технічних засобів для отримання вимірювальної інформації, її перетворення, обробки з метою представлення споживачеві в необхідному вигляді або автоматичного здійснення логічних функцій контролю, діагностування, розпізнавання, ідентифікації з формуванням великих баз даних вимірювальної інформації та використанням всіх можливостей промислового Інтернету речей.

Для формування метрологічного забезпечення таких систем важливим є опрацювання таких питань:

- формування єдиних вимог до метрологічних характеристик ІВС;
- розробка методів і засобів контролю метрологічних характеристик ІВС;
- формування методів передавання розмірів одиниць фізичних величин від еталонів до вимірювальних перетворювачів;
  - метрологічна експертиза технічної документації;
  - забезпечення єдності і достовірності результатів функціонування ІВС;
  - контроль стану функціонування ІВС;
  - розроблення методів метрологічної перевірки та калібрування ІВС;
  - розроблення методів опрацювання вимірювальної інформації та аналізу інформації баз даних;
- організація і проведення робіт з метрологічної перевірки програмного забезпечення та передавання вимірювальної інформації через промислових Інтернет.

Д.Г. Матвієнко

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ МЕДИКО-ЕКОЛОГІЧНИХ БАЗ ДАНИХ. РАДІАЦІЙНИЙ БЛОК**

Ключові слова: радіаційний захист населення, харчові ланцюги, міграція радіонуклідів, радіонукліди Sr-90 та Cs-137

Ріст антропогенного навантаження на навколишнє середовище в другій половині ХХ століття призвів до загострення багатьох екологічних проблем. В умовах значної кількості екологічних проблем різного рівня складності та вкрай обмежених ресурсів, доступних для їх вирішення, гарантування екологічної безпеки ядерних об'єктів і радіаційного захисту населення та довкілля, зведення до мінімуму шкідливого впливу наслідків аварії на Чорнобильській АЕС віднесено до національних пріоритетів охорони навколишнього природного середовища і раціонального використання природних ресурсів. Дослідження екологічних процесів, пов'язаних з міграцією радіонуклідів по харчовим ланцюгам, є досить актуальною проблемою сьогодні, коли Україна і зокрема Черкаський агропромисловий регіон перебуває у стані подолання наслідків Чорнобильської катастрофи. Чорнобильська катастрофа виявилась одним з найбільш вагомих факторів антропогенного впливу на навколишнє природне середовище. Екологічні наслідки її обумовлюються не лише особливостями радіоактивного забруднення, а й генетичними та революційними відмінностями окремих ґрунтових різновидів у природних агроекосистемах.

Потрапляння радіонуклідів стронцію та цезію від ґрунту до людини можна представити наступною схемою (Рис. 1):

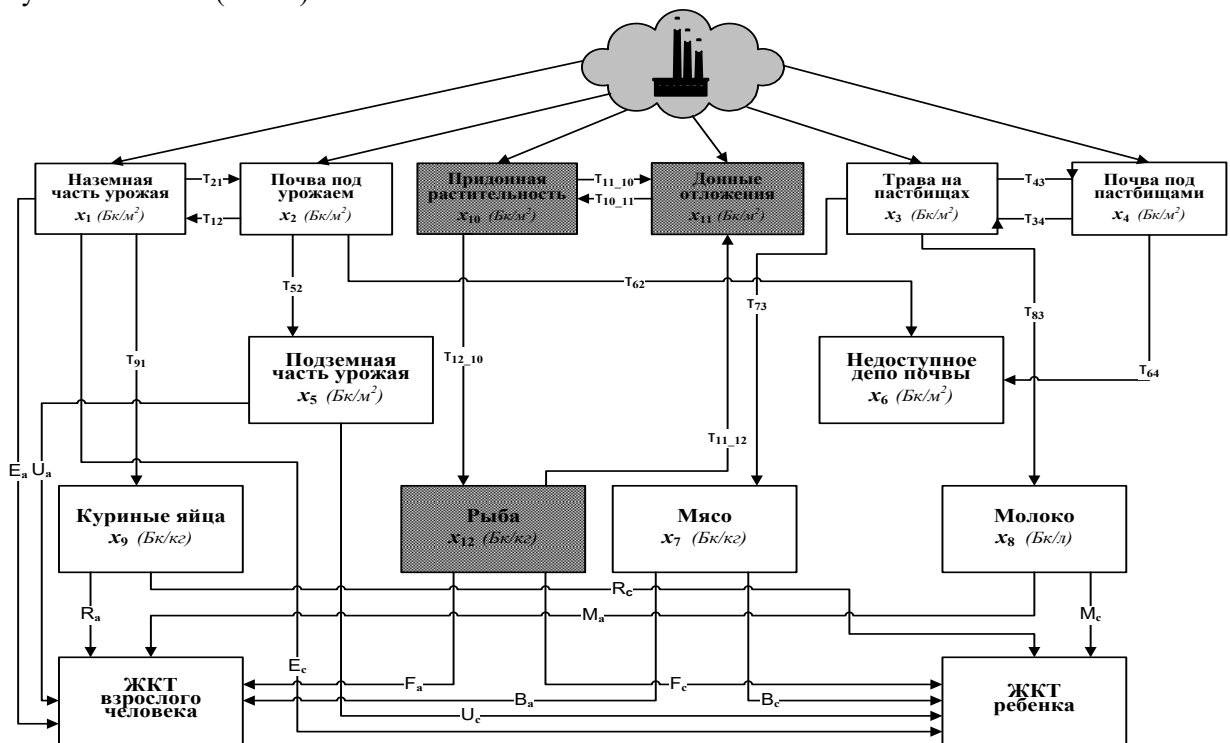


Рис 1. Блок-схема переносу радіонуклідів по екологічних і трофічних ланцюгах

За цією схемою, маючи коефіцієнти переходу від однієї камери моделі до іншої, за допомогою диференціальних рівнянь, можна розрахувати активність продукту на будь-якому етапі.

Проблемою, що вимагає невідкладного вирішення, є дослідження міграції радіонуклідів у харчових ланцюгах, оскільки радіонукліди включаються у ланцюги живлення, що викликає повторне забруднення екологічних об'єктів. Ґрунт є основним джерелом потрапляння



радіонуклідів у сільськогосподарську продукцію . Швидкість цих процесів залежить від таких властивостей ґрунту , як механічний та мінеральний склад , вміст органічних речовин і т.д.

Попередній аналіз наявності розповсюдження радіонуклідів у Черкаській області свідчить про те, що основний вклад в радіоактивне забруднення довкілля, вносять лише два радіонукліди - Sr -90 та Cs-137.

Sr -90, у силу своєї біологічної активності , значно легше мігрує з ґрунту до рослин , ніж Cs-137 . У залежності від властивостей ґрунту щабель міграції Cs-137 та Sr -90 у рослинах може змінюватись в 10 - 15 і більше разів.

Нагромадження радіонуклідів у рослині алежить від вмісту в ґрунті елементів харчування. Так установлене, що мінеральне добриво, внесене в дозах N 90, P 90, збільшує концентрацію Cs-137 в овочевих культурах в 3 - 4 рази, а аналогічні внесення калію в 2 - 3 рази знижує його вміст. Позитивний ефект на зменшення надходження Sr -90 у врожай зернобобових культур робить вміст кальцій утримуючих речовин.

У такий спосіб міграція радіонуклідів багато в чому залежить від типу ґрунту, його механічного складу, водно-фізичних та агрохімічних властивостей. Так на сорбцію радіоізотопів впливають багато факторів, і одним з основних є механічний і мінералогічний склад ґрунту залежить від метеорологічних умов (кількості опадів).

Найважливіша проблема сільського господарства в умовах забруднення ґрунту радіоактивними елементами - максимально можливе зниження надходження цих речовин у рослинницьку продукцію та запобігання нагромадження їх в організмах сільськогосподарських тварин. Рішення цього завдання пов'язане з комплексом заходів, які необхідно проводити в сільському господарстві.

#### **Список літературних джерел**

1 Гама спектрометричні дослідження відповідно «Методики выполнения измерений удельной (объемной) активности радионуклидов в счетных образцах объектов технологических и природных сред» Киев, 2011.

2 Бета спектрометричні дослідження відповідно МІ 12-08-99 Методика виконання вимірювань з використанням сцинтиляційних спектрометрів та програмного забезпечення АК-1.

3 Радіохімічні дослідження ДСТУ 7870:2015 Ґрунти та продукція рослинництва. Визначення вмісту радіонуклідів торію  $^{232}\text{Th}$  методом спектрометричного аналізу; ДСТУ 7869:2015 Ґрунти та продукція рослинництва. Визначення вмісту радіонуклідів радію  $^{226}\text{Ra}$  методом спектрометричного аналізу; ДСТУ 7868:2015 Ґрунти та продукція рослинництва. Визначення вмісту радіонуклідів цезію  $^{137}\text{Cs}$  методом спектрометричного аналізу, ДСТУ 7867:2015 Ґрунти та продукція рослинництва. Визначення вмісту радіонуклідів стронцію  $^{90}\text{Sr}$  методом спектрометричного аналізу.

4 Дослідження на відповідність нормативних документів "Державні гігієнічні правила і норми "Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах", затвержені наказом МОЗ України від 13.05.2013 р. № 368, ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001 та ГН 6.6.1.1-130-2006 "Допустимі рівні вмісту радіонуклідів  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у продуктах харчування та питній воді" затверджених МОЗ України 03.05.2006 р..

**С. М. Цирульник, к.т.н., доц., В. І. Роптанов, к.т.н., доц., В. М. Ткачук, викладач**  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕРФЕЙСІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ**

**Ключові слова:** логічний аналізатор, інтерфейс інформаційно-вимірювальних систем, аналізатор протоколу, діагностування цифрових та мікропроцесорних пристроїв.

Широке розповсюдження радіоелектронних пристроїв із застосуванням цифрової обробки сигналів обумовлює підвищений інтерес до питань діагностування їх технічного стану. Одним з різновидів діагностування цифрових вузлів і блоків є покомпонентне тестове діагностування, застосування якого на етапі проектування та виготовлення цифрових пристроїв дозволяє визначити правильність їх функціонування і здійснити процедуру пошуку несправностей.

Складність сучасних пристроїв та особливості технологій їх виготовлення обмежують застосування існуючих методів діагностування, вимагаючи пошуку певних компромісів. Досвід багатьох провідних фірм світу: CheckSum, GenRed, Agilent 3070, DyagnoSYS (США), Polar (Британія), Гранит (Росія), MicroCraft (Японія), Seico (Італія) [1], які проектують сучасне діагностичне обладнання, показав, що перспективним напрямком випуску якісних цифрових пристроїв є сумісне застосування і подальше удосконалення таких методів тестування як функційне, внутрішньосхемне та метод периферійного сканування об'єктів. На різних етапах проектування та налагодження цифрових систем використовуються такі спеціалізовані апаратні засоби: логічні аналізатори, осцилографи змішаних сигналів; різні види плат розвитку; схемні симулятори і емулятори, налагоджувальні комплекси; емулятори пам'яті; програматори [2].

Під час пошуку складних несправностей в дискретних пристроях виникає необхідність одночасного спостереження декількох сигналів поведінки схеми (одноразових і аперіодичних). Такі можливості надає логічний аналізатор. Логічний аналізатор (ЛА) є комбінацією багатоканального реєстратора двійкових сигналів, побудованого на базі швидкодіючого запам'ятовуючого пристрою з розвиненою системою управління процесом запису даних, і дисплея, що відображає записану в пам'ять інформацію у формі, що є зручною для аналізу [3].

Відповідно до вимог сьогодення ЛА можна розділити на два основних типи: аналізатори мікропроцесорних систем на програмному рівні опису (embedded microprocessor software debug applications) – аналізатори станів (state analyser) та аналізатори цифрових систем на логічному та часовому рівні (hardware debug applications) – аналізатори часових співвідношень (timing analyser) [2].

Для налагодження мікропроцесорних систем потрібно не тільки зафіксувати логічний стан, що передається по системній магістралі, а й ідентифікувати інформацію (дані, команди або сигнали керування). Для цього вхідні канали аналізатора розбиваються на дві або три групи. Одна група каналів записує адреси, друга – дані, третя – команди та коди керування.

Найбільш поширеною формою представлення даних ЛА є часові діаграми та таблиці станів.

Вітчизняний ринок засобів діагностування і налагодження цифрових систем має свої особливості. Часто вирішальним фактором є ціна виробу, в зв'язку з чим набули поширення ЛА, виконані у вигляді периферійних пристроїв або плат розширення для персональних комп'ютерів. Однією з доступних на вітчизняному ринку є продукція компанії «Saleae», яка пропонує цілий ряд ЛА на базі персонального комп'ютера (ПК) з числом каналів від 4 до 16 і швидкістю запису до 500 МГц [4]. Налаштування системи та візуалізація отриманої інформації виконується програмною оболонкою «SaleaeLogic» [4]. LogicAnalyzer забезпечує частоту опитування 24 МГц на кожний канал, якщо на шині USB відсутні інші пристрої та комп'ютер має достатню продуктивність.

Програмне забезпечення дозволяє у зручному виді переглядати записані дані, об'єм та частоту зняття яких задається програмно. Передбачений режим курсорних вимірювань, вимірювань частоти та тривалості сигналів. Є можливість експорту даних в зручних форматах для документування.

Програмне забезпечення SaleaeLogic [4] дозволяє аналізувати багато сучасних інтерфейсів інформаційно-вимірювальних систем (UART, I2C, SPI, 1Wire, CAN та ін.) [5, 6]. Для додавання аналізатора протоколу, необхідно вибрати його з меню на панелі аналізаторів та вказати який канал за який сигнал відповідає (рис. 1). Після додавання/редагування аналізатора, він автоматично обробляє усі накопичені в каналі дані (рис. 2).

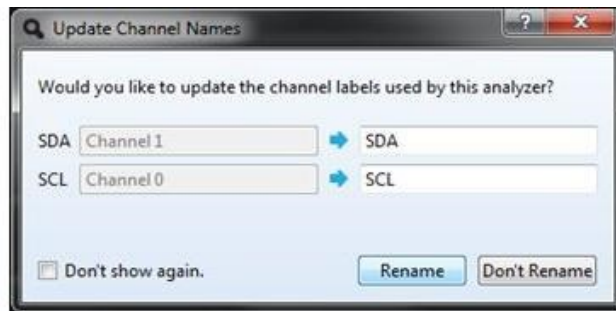


Рис. 1. Налаштування аналізатора протоколів I2C



Рис.2. Аналіз та декодування інформації шини I2C

Робота з логічним аналізатором дозволяє отримати практичні навички з дослідження та аналізу роботи цифрових та мікропроцесорних систем з різноманітними інтерфейсами інформаційно-вимірювальних систем та протоколами передавання даних, що необхідно для параметричного, функційного, тестового та комбінованого контролю і діагностування інтегральних схем різного ступеня інтеграції, а також змонтованих на їх базі вузлів, пристроїв, що розміщують на друкованих платах.

### Список літературних джерел

1. Діагностування цифрових пристроїв. Навчальний посібник. / О. Д. Азаров, С. І. Перевозніков, Н. О. Біліченко, В. С. Озеранський. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2009. – 74 с.
2. Перцовский М. Применениелогическиханализаторов в тестированицифровойтехники/ М. Перцовский, Е. Воробьев, А. Трифонов // Современныетехнологииавтоматизации. – 2000. – №2. – С.6-12.
3. Озеранський В. С. Особливості використання логічного аналізатора в системах покомпонентного діагностування цифрових пристроїв / В. С. Озеранський, С. І. Перевозніков// Інтернет Освіта Наука: матеріали 10 Міжнар. наук.-техн. конф. ЮН-2016, 11-14 жовт. 2016, Вінниця, Україна / Вінницький національний технічний університет. – Вінниця 2016. – с.84-85
4. Офіційна сторінка компанії Saleae. [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.saleae.com/logic/>, вільний. – Загл. з екрана. – Мова англійська.
5. Цирульник С. М. Проективання мікропроцесорних систем/ С. М. Цирульник, Г. Л. Лисенко. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 191с. – ISBN 978-966-641-463-5.
6. Рюмик С. М. 1000 и одна микронтроллерная схема. Вып. II / Рюмик С. М. – М. : «Додека-XXI», 2011. – 400 с.

**В.Ю.Кучерук, д.т.н., проф; П.І.Кулаков, д.т.н., проф.;  
Д.В.Мостовий, аспірант; А.П.Кулакова, студент**

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОХОДЖЕННЯ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВИДИМОГО ДІАПАЗОНУ КРІЗЬ ВОДНО-МОЛОЧНИЙ РОЗЧИН**

Ключові слова: водно-молочний розчин, видимий діапазон, оптичне випромінювання, виявлення води у молоці.

Для подальшої розробки засобів оперативного вимірювального контролю вмісту води у молоці на стійлових доільних установках необхідно створити математичну модель проходження оптичного випромінювання видимого діапазону крізь водно-молочний розчин на основі дослідження його експериментальних характеристик пропускання. За допомогою отриманої математичної моделі можливе визначення оптимальної довжини хвилі випромінювання видимого діапазону для вимірювання малих значень відносної масової частки води у водно-молочному розчині. Розробка нових засобів оперативного вимірювального контролю вмісту води у молоці дозволить виявляти факти фальсифікації молока водою доярами та нечесними постачальниками.

Залежність спектральної характеристики пропускання двокомпонентного водно-молочного розчину від відносної масової частки молока  $\eta$  та довжини хвилі  $\lambda$  визначається виразом [1, 2]

$$I(\lambda)/I_0 = 10^{\frac{d \rho_M \rho_V (k_M(\lambda) + k_V(\lambda)(1/\eta - 1))}{\rho_V + \rho_M (1/\eta - 1)}}, \quad (1)$$

де  $\rho_M$  - щільність молока;  $\rho_V$  - щільність води;  $I_0$  - інтенсивність випромінювання, яке падає на розчин;  $I(\lambda)$  - інтенсивність випромінювання, яке пройшло крізь розчин;  $d$  - товщина шару розчину;  $k_M(\lambda)$  - коефіцієнт екстинкції молока;  $k_V(\lambda)$  - коефіцієнт екстинкції води;  $\eta$  - відносна масова частка молока у водно-молочному розчині.

Під час проведення досліджень, за допомогою спектрофотометра СФ-4 були отримані експериментальні залежності спектральних характеристик пропускання водно-молочного розчину при значеннях  $\eta_1 = 1$  та  $\eta_2 = 0.75$  від довжини хвилі оптичного випромінювання у видимому діапазоні при  $d = 10$  мм. Встановлено, що коефіцієнти екстинкції води та молока визначаються виразами

$$k_V(\lambda_0) = \frac{(\rho_V + \rho_M (1/\eta_1 - 1)) \lg \frac{I_1(\lambda_0)}{I_0} - (\rho_V + \rho_M (1/\eta_2 - 1)) \lg \frac{I_2(\lambda_0)}{I_0}}{d \rho_M \rho_V (1/\eta_2 - 1/\eta_1)}, \quad (2)$$

$$k_M(\lambda_0) = - \frac{(\rho_V + \rho_M (1/\eta_1 - 1)) \lg \frac{I_1(\lambda_0)}{I_0}}{d \rho_M \rho_V} - \frac{(\rho_V + \rho_M (1/\eta_1 - 1)) \lg \frac{I_1(\lambda_0)}{I_0} - (\rho_V + \rho_M (1/\eta_2 - 1)) \lg \frac{I_2(\lambda_0)}{I_0}}{d \rho_M \rho_V (1/\eta_2 - 1/\eta_1)} (1/\eta_1 - 1), \quad (3)$$

де  $I_1(\lambda_0)/I_0$ ,  $I_2(\lambda_0)/I_0$  - результати вимірювання значень спектральних характеристик пропускання при довжині хвилі оптичного випромінювання  $\lambda_0$  та значеннях відносної масової частки молока  $\eta_1$  та  $\eta_2$  відповідно.

Для вимірювання інтенсивності оптичного випромінювання широко використовуються лінійні фотоприймачі на основі пари фотодіод-операційний підсилювач. У відповідності з [1, 2], залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині визначається виразом

$$U_F(\eta) = I_0 \cdot S_{I_0}(\lambda) \cdot R \cdot S \cdot 10^{\frac{d \rho_M \rho_V (k_M(\lambda) + k_V(\lambda)(1/\eta - 1))}{\rho_V + \rho_M (1/\eta - 1)}}, \quad (4)$$

де  $S_{I_0}(\lambda)$  - інтегральна струмова чутливість фотодіоду;  $S$  - площа фоточутливого шару фотодіоду, що освітлюється;  $R$  - опір в колі зворотного зв'язку операційного підсилювача.

В процесі досліджень було проведено математичне моделювання проходження оптичного випромінювання видимого діапазону крізь водно-молочний розчин. Для цього була проведена інтерполяція звичайними кубічними сплайнами експериментальних спектральних характеристик пропускання, тобто вони були представлені у вигляді

$$\frac{I_1(\lambda)}{I_0} = \begin{cases} a_{1M} + b_{1M}(\lambda - \lambda_1) + c_{1M}(\lambda - \lambda_1)^2 + d_{1M}(\lambda - \lambda_1)^3, & \lambda \in [\lambda_1, \lambda_2]; \\ a_{2M} + b_{2M}(\lambda - \lambda_2) + c_{2M}(\lambda - \lambda_2)^2 + d_{2M}(\lambda - \lambda_2)^3, & \lambda \in [\lambda_2, \lambda_3]; \\ \dots \\ a_{N-1M} + b_{N-1M}(\lambda - \lambda_{N-1}) + c_{N-1M}(\lambda - \lambda_{N-1})^2 + d_{N-1M}(\lambda - \lambda_{N-1})^3, & \lambda \in [\lambda_{N-1}, \lambda_N], \end{cases} \quad (5)$$

$$\frac{I_2(\lambda)}{I_0} = \begin{cases} a_{1V} + b_{1V}(\lambda - \lambda_1) + c_{1V}(\lambda - \lambda_1)^2 + d_{1V}(\lambda - \lambda_1)^3, & \lambda \in [\lambda_1, \lambda_2]; \\ a_{2V} + b_{2V}(\lambda - \lambda_2) + c_{2V}(\lambda - \lambda_2)^2 + d_{2V}(\lambda - \lambda_2)^3, & \lambda \in [\lambda_2, \lambda_3]; \\ \dots \\ a_{N-1V} + b_{N-1V}(\lambda - \lambda_{N-1}) + c_{N-1V}(\lambda - \lambda_{N-1})^2 + d_{N-1V}(\lambda - \lambda_{N-1})^3, & \lambda \in [\lambda_{N-1}, \lambda_N], \end{cases} \quad (6)$$

де  $a_{iM}, b_{iM}, c_{iM}, d_{iM}$  - коефіцієнти інтерполюючих кубічних сплайнів експериментальної спектральної характеристики пропускання  $I_1(\lambda)/I_0$ ;  $a_{iV}, b_{iV}, c_{iV}, d_{iV}$  - коефіцієнти інтерполюючих кубічних сплайнів експериментальної спектральної характеристики пропускання  $I_2(\lambda)/I_0$ ;  $\lambda_1 \dots \lambda_N$  - абсциси вузлів інтерполюючої сплайн-функції.

Сукупність виразів (1) - (6) являють собою математичну модель проходження оптичного випромінювання видимого діапазону крізь водно-молочний розчин. Отримана в результаті математичного моделювання теоретична залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод - операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині та довжини хвилі оптичного випромінювання у видимому діапазоні наведена на рис. 1.

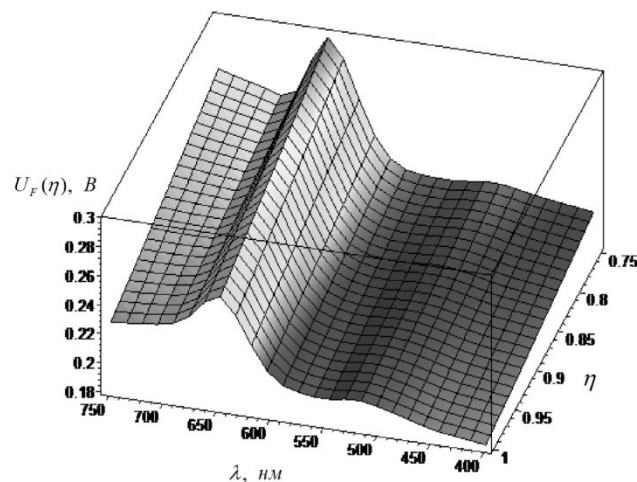


Рисунок 1 – Теоретична залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод - операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині та довжини хвилі оптичного випромінювання у видимому діапазоні.

Моделювання було проведено у видимому діапазоні оптичного випромінювання для довжин хвиль від 400 нм до 750 нм та діапазоні відносної масової частки молока у водно-молочному розчині від 0.75 до 1. При проведенні моделювання було припущено, що інтегральна чутливість фотодіоду є постійною в усьому діапазоні довжин хвиль. Вибір діапазону відносної масової частки молока у водно-молочному розчині зумовлений тим, що за спостереженнями авторів, при  $\eta < 0.75$  людське око починає відрізняти водно-молочний розчин від чистого молока. Як слідує з рис. 1, існує оптимальне значення довжини хвилі, при якому чутливість вимірювального каналу відносної масової частки молока у водно-молочному розчині буде максимальною.

### Список літературних джерел

1. Kucheruk, V. Measuring of the relative milk mass fraction in water-milk Solution // V. Kucheruk, P. Kulakov, E. Palamarchuk, N. Storozhuk, W. Wojcik, M. Zhassandykyzy // Przegląd elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 3/2017, p. 83 – 87, doi:10.15199/48.2017.03.20
2. Kucheruk, V. Measurement of the Number Servings of Milk and Control of Water Content in Milk on Stall Milking Machines / V. Kucheruk, P. Kulakov, N. Storozhuk // Proceedings of the International Conference SCIT 2016, May 20-21, 2016, Warsaw, Poland. Recent Advances in Systems, Control and Information Technology. Part V, Volume 543 of the series Advances in Intelligent Systems and Computing, pp 435-447. – 01 December 2016. – DOI: 10.1007/978-3-319-48923-0\_46

**О.М. Васілевський, д.т.н., проф.; Д.М. Компанець, аспірант**

## **СУЧАСНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ НАЛИВОМ НАФТОПРОДУКТІВ НА НАФТОБАЗАХ. ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ**

Ключові слова: система автоматизованого наливу, витратоміри, відтворюваність, точність, вимірювальний канал, паливо роздавальна колонка.

Через сучасний розвиток науки, покращення характеристик засобів вимірювальної техніки підвищуються вимоги у законодавчих та нормативних документах до точності вимірювання. У свою чергу, підвищення точності вимірювань дозволяє визначити недоліки, тих чи інших, технологічних процесів, і усунути ці недоліки.

Об'єктом дослідження є комплекс засобів вимірювальної техніки та інженерно-технічних засобів для автоматизованого управління ділянкою наливом нафтопродуктів на нафтобазах.

Попередньо проведений аналіз сучасних систем управління автоматизованим наливом, вимірювальних каналів даної системи, технічних вузлів, монтажної конструкції та безпосередньо процесу вимірювання величин, було визначено фактори, що впливають на точність вимірювання величин відпущеного нафтопродукту у автоцистерни.

Основним засобом вимірювальної техніки системи автоматизованого наливу є витратомір. Сьогодні великого поширення здобули витратоміри Коріюліса – пристрій для вимірювання витрат в однофазних потоках рідини, газу або сипучої речовини [1]. Фактори, що впливають на зменшення точності, збільшення кількості промахів та наявність похибок вимірювання, представлені у роботі [2]. Основними факторами є:

- в'язкість рідини;
- сила поверхневого натягу;
- величина витрати;
- резонансна частота витратоміра;
- конструкція сенсора і його розмір;
- розрив вимірювального потоку нафтопродукту;
- робочий тиск в витратомірі (слабкість насосів, несправність електромагнітних клапанів);
- ступінь турбулентності (завеликий діаметр труб на виході з витратоміру);
- поява двофазного потоку (виділення легких фракцій або поява піни НП).

На додаток, при досягненні певного порогу аерації, витратомір Коріюліса взагалі може збитися з резонансної частоти і припинити працювати. Причому зазначений поріг також варіюється в залежності від перерахованих вище параметрів. Все це представляє кардинальну проблему у вимірюваннях витрати середовищ, де однофазний потік може перетворитись у двофазний. Тому, при використанні витратоміру Коріюліса для вимірювання витрат нафтопродуктів необхідно обов'язково враховуватися вище перераховані фактори.

Вплив факторів на роботу системи автоматизованого наливу може призвести до порушення вимог нормативних документів [3], відповідно до встановленої похибки вимірювання відпущеного нафтопродукту.

Тому постає питання у розробці системи контролю автоматизованим наливом, котра б за допомогою додаткових вимірювальних каналів контролювала вплив факторів на умови і процес вимірювання та інформувала б оператора про наявні несправності або невідповідності у роботі системи.

Список літературних джерел:

1. Ельперін І.В. Автоматизація виробничих процесів: підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пулена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. // К.: Видавництво Ліра-К — 2015. — 129 с.
2. Кравченко В. Измерения расхода с помощью кориолисовых расходомеров в случае двухфазного потока. Применение кориолисовых расходомеров в световых ГОСТ Р 8. 615-2005 [Текст] / В.Кравченко, М. Риккен // Законодательная и прикладная метрология - 2006. - №4- 37-44 с.
3. Про порядок приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України N 281/171/578/155 . – Офіц. вид. – К. : ГРІФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2008. – (Нормативний документ. Міністерства палива та енергетики України. Інструкція).

**О. М. Васілевський, д.т.н., професор, В. П. Мазур, студент**  
**ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ**  
**ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

Ключові слова: надійність, програмне забезпечення, якість програмного забезпечення, програмна надійність, тестування програмного забезпечення

Доцільно виділити дві сторони програмного забезпечення об'єкту: програмну надійність об'єкту – властивість об'єкту, виконувати задані функції, обумовлені якістю програмного забезпечення; надійність програмного забезпечення – властивість програмного забезпечення виконувати вказані йому вимоги [1-2].

Програмна надійність засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) виявляється при спільній роботі апаратної і програмної частин. Вона характеризує здатність ЗВТ виконувати задані функції при умові, що програма буде знаходитися в тому або іншому стані.

Надійність програмного забезпечення характеризує якісний стан програми. Її іноді називають правильністю програми, коректністю програми, надійністю програми.

Програмна надійність об'єкту – це те, що цікавить споживача програми. Для її забезпечення необхідно, щоб програма була правильною, коректною, надійною, тобто щоб вона не містила помилок. Може виявитись, що деякі з помилок зовсім не виявляться при роботі об'єкта або, навпаки, при роботі об'єкта виявляться додаткові помилки програми. Проте очевидно, що необхідною умовою надійної роботи об'єкту є коректність програм, тобто відсутність в них помилок.

Програмна надійність стає особливо актуальною, коли програми є самостійним продуктом. В цьому випадку вони виготовляються, перевіряються і піддаються випробуванням так само, як звичайні об'єкти [2-4].

У складному програмно-керованому технічному засобі будь-якого типу можна виділити дві основні, відносно незалежні частини:

- а) сукупність автономно, паралельно працюючих технічних схем і засобів – апаратна частина.
- б) сукупність програм, орієнтованих на рішення конкретного комплексу завдань, що представляють математичне забезпечення ЗВТ утворюють програмну частину (операційна система і робочі програми користувачів) [3, 4].

При загальному аналізі характеристик ЗВТ (його надійності) потрібно враховувати, що якщо апаратна частина жорстко задана, незмінна і її надійність може бути забезпечена на необхідному рівні, то програмна частина у кожному окремому випадку може мати ряд модифікацій, є достатньо гнучкою, змінною частиною ЗВТ і в забезпеченні сукупної надійності засобу визначає найбільшу кількість помилок.

До основних проблем дослідження надійності програмного забезпечення (ПЗ) відноситься:

- а) розробка методів оцінки і прогнозування надійності ПЗ на основі сукупності кількісних показників і характеристик, ідентичних показникам апаратної надійності.
- б) визначення чинників, що впливають на досягнення заданого рівня надійності ПЗ.
- в) розробка методів, що забезпечують досягнення заданого рівня надійності ПЗ.
- г) вдосконалення методів підвищення надійності ПЗ в процесі проектування і експлуатації.

Ефективний спосіб підвищення надійності ПЗ – використання методів структурного проектування програм, оскільки залежно від структури ПЗ наслідки окремих помилок можуть бути легко виявлені, локалізовані і виправлені на деякій невеликій ділянці програми або розповсюдитися на інші рівні та модулі ПЗ.

**Список використаних джерел**

1. Korovaitsev A. A., Lomakin M. I., and Dokukin A. V. Evaluation of metrological reliability of measuring instruments under the conditions of incomplete data // *Measurement Techniques*, Vol. 56, №10, 2014, P. 1111-1116.
2. Васілевський О. М., Ігнатенко О. Г. Нормування показників надійності технічних засобів: [навчальний посібник]. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 160 с. - ISBN 978-966-641-535-9.
3. Васілевський О. М. Нормування показників метрологічної надійності // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - № 4. - 2011. - С. 9 - 13.
4. Васілевський О. М., Поджаренко В. О. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення: [навчальний посібник]. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 214 с. - ISBN 978-966-641-348-5.

Горбань Д. В., студент; Безуглий М. О., к.т.н., доц.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТКАНИН МОЗКУ МЕТОДАМИ ЕЛІПСОЇДАЛЬНОЇ ФОТОМЕТРІЇ

**Ключові слова:** оптична біомедична діагностика, тканини мозку, еліпсоїдальний рефлектор, еліпсоїдальна фотометрія.

Оптичні методи дослідження мозку, як правило, використовуються з метою візуалізації його тканин в режимі реального часу, і, зокрема, для оцінки взаємозв'язку між змінами кровообігу в мозку та основною активністю нейронів. При цьому можлива одночасна рестрація декількох факторів нейронної активності. Сучасні оптичні методи та засоби базуються на використанні флуоресцентних маркерів для активізації необхідних нейронів або пригнічення їх активності. Також отримувати інформацію про нейронну активність мозку можна реструючи флуоресцентний відгук. Зміна кровообігу в судинах мозку є основним показником активності нейронів, що дає можливість розглянути нервово-судинні причини захворювання. Це пояснюється тим, що патологічний кровообіг і оксигенація різних ділянок мозку можуть бути в основі неврологічних захворювань, таких як хвороба Альцгеймера, розсіяний склероз, епілепсія та інсульт[1]. Двовимірне оптичне зображення, отримане за допомогою 2-D камер, дозволяє візуалізувати видиму частину кори головного мозку. При цьому розрізняють; зображення як внутрішній сигнал або гіперспектральну томографію динаміки окси- та дезоксигемоглобіну; зображення зовнішніх чутливих до напруги барвників; спектр-потокове зображення, здатне відобразити динаміку кровообігу на поверхні кори[2].

Серед існуючих методів оптичного дослідження мозку, окрім методу флуоресцентних маркерів, за функціональними та технічними ознаками можна виділити мікроскопію спонтанного або когерентного розсіяння світла, нелінійно-оптичну мікроскопію високої просторової роздільної здатності та інш. Основними засобами, що дозволяють з найменшими втратами зареєструвати малі корисні сигнали вважаються різноманітні техніки спектроскопічного аналізу, а також ендоскопічне обладнання.

У даній роботі розглядаються можливості та особливості застосування методів дзеркальних еліпсоїдів обертання [3,4] для дослідження головного мозку в умовах експерименту *in vivo*, а також тканин мозку при проведенні досліджень *in vitro* при використанні методу чисельного моделювання Монте-Карло поширення оптичного випромінювання в біологічному середовищі (БС). На підставі чисельного експерименту розглянуто особливості світлорозсіяння в сірій речовині головного мозку людини при фотометрії еліпсоїдальними рефлекторами для трьох довжин хвиль 405 нм, 532 нм та 650 нм.

Характеризуючи результати взаємодії світла з БС в рамках симуляції Монте-Карло, можна виділити наступні значущі параметри, що впливатимуть на розміри плями розсіяння в прямому або зворотному напрямках. Перш за все це координати виходу фотона з біологічного середовища; по-друге – направляючі косинуси, що характеризують напрямок поширення променя (фотону) та точку його перетину з еліпсоїдальною поверхнею рефлектора біомедичного фотометру; і по-третє – це вага фотону на виході з БС, що характеризує інтенсивність випромінювання в площині контакту БС з фокальною площиною рефлектора.

### Список літературних джерел

1. Elizabeth M. C. Hillman, "Optical brain imaging in vivo: techniques and applications from animal to man", *Journal of Biomedical Optics*, 12(5), 051402, (2007).
2. Доронина-Амиотонова Л.В. Нейрофотоника: оптические методы исследования управления мозгом / Л.В. Доронина-Амиотонова, И.В. Федотов А.Б. Федотов, К.В. Анохин, А.М. Жёлтиков // *Успехи физических наук*. – 2015. – №4(185). – с.371-392.
3. Bezuglyi, M.A., Botvinovskii, D.V., Zubarev V.V., Kotsur Y.A., "Method of photometric mirror ellipsoid of revolution for research of roughness of surface," *Methods and devices of control of quality*, 27, 77-83 (2011).
4. Безуглий М.А. Обработка изображений при эллипсоидальной фотометрии / Безуглий М.А., Безуглая Н.В., Самиляк А.Б. // *Приборы и методы измерений*. – 2016. – №7 (1). – с. 67-76.



**К. В. Овчинников, к.т.н.; Т. К. Сидорчук, магістрант**

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК NTC ТЕРМОРЕЗИСТОРІВ**

Ключові слова: терморезистор, температура, опір, температурна залежність, аналоговий компаратор, омметр, камера тепла/холоду.

На сьогоднішній день на вітчизняному ринку відсутні системи для автоматизованого вимірювання характеристик NTC терморезисторів, існування яких дає можливість розвитку в галузі використання та розробки засобів вимірювання температури та контролю параметрів навколишнього середовища. Терморезистор - напівпровідниковий резистор, основна задача якого полягає в можливості змінити свій електричний опір при зміні температури навколишнього середовища [1]. Терморезистори поділяються на два основних види: NTC (з негативним коефіцієнтом температури) і PTC (з позитивним коефіцієнтом температури) [2]. Найбільш актуальними та поширеними є NTC терморезистори, для яких характерний великий температурний коефіцієнт опору, простота конструкції, здатність працювати в різних кліматичних умовах при значних механічних навантаженнях та стабільність характеристик у часі. Але таким терморезисторам притаманні такі недоліки, як складна повторюваність екземплярів та значна нелінійність температурної характеристики, що в свою чергу ускладнює та підвищує вартість засобів вимірювання, в яких такі терморезистори використовуються в якості первинних перетворювачів [3].

Терморезистори мають широке коло застосування, зокрема їх застосовують в електронних пристроях затримки з досить широким інтервалом часу затримки, в низькочастотних генераторах як конденсатор або котушку індуктивності, в ємнісних і індуктивних схемах для захисту від викидів напруги, в резистивних схемах як обмежувачі струму та напруги [4].

Проаналізувавши галузі застосування терморезисторів виникає необхідність розробки системи автоматичного вимірювання характеристик NTC терморезисторів, яка дасть можливість підвищити якість вимірювання характеристик NTC терморезисторів та пришвидши і автоматизувати процес вимірювання.

Для вирішення поставленої задачі пропонується використовувати систему, яка контролюється персональним комп'ютером та складається з трьох каналів управління. Першим каналом є канал управління камерою тепла/холода, який забезпечує установку робочої температури та режиму роботи камери. Другий канал забезпечує управління аналоговим мультиплексором, який в свою чергу здійснює перемикання вимірюваних каналів. Останній канал потрібен для керування цифровим омметром та отримання результатів вимірювання.

В результаті аналізу поставленої задачі до основних характеристик NTC терморезисторів була віднесена температурна залежність опору [5]. Основним методом для вимірювання був обраний мостовий метод, який застосовується для вимірювання малих, середніх і великих опорів, коли необхідна велика точність вимірювання [6]. На основі вибраного методу розроблено структурну та функціональну схему автоматизованої системи для вимірювання характеристик NTC терморезисторів та оцінено її метрологічні характеристики.

### Список літературних джерел

11. Косилов А.Н. Терморезистор. Терморезистивный эффект. м.Скатеринбург, 2003. – 20 с.
12. ГОСТ 21414-75 «Резисторы. Термины и определения» - 3 с.
13. Преображенський, В.П. Теплотехнічні вимірювання та прилади. – М.: Енергія, 1978. – 704 с.
14. Шефтель І. Т. Терморезистори. м. Москва, 1973 – 416 с.
15. Гершунский Б.С. Основы электроники. г. Москва, 1977 – 135 с.
16. ГОСТ 21342.8-76 Терморезисторы. Метод измерения температурного коэффициента сопротивления.

К. А. Федорчак, студентка; Ю. Ю. Іванов, к.т.н., ас.

## ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ ТУРБО-КОДІВ-ДОБУТКІВ У ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ

Ключові слова: цифровий зв'язок, турбо-код, турбо-код-добуток, кодування, жорстке та м'яке декодування, Sum-Product, Chase II.

У час сучасних технологій відбувається інтенсивний розвиток цифрових систем передавання даних (супутниковий і мобільний зв'язок, цифрове телебачення, програмовані радіосистеми тощо). Досить часто ці системи використовують для передавання даних бездротові канали, у яких на сигнал діють завади різної фізичної природи, які створюють помилки у даних. Для усунення помилок К. Е. Шеннон запропонував застосовувати завадостійке кодування (error-correcting coding). Розробка методів і засобів захисту інформації на основі завадостійкого кодування набуває особливої важливості і актуальності. Одним із основних напрямів роботи науковців є дослідження паралельних каскадних конструкцій кодів (або турбо-кодів, ТК). Практично всі світові експерти в області комунікацій (Altera, France Telecom, LG Electronics, Samsung, Texas Instruments, ViaSat, ZTE тощо), використовують саме даний код. Термін "турбо" та математичний апарат для паралельної конкатенації згорткових кодерів вперше запропонувала у 1993 р. група французьких вчених, підсумувавши роботу, яку вели математики, а також фахівці з апаратних, програмних засобів ЕОМ та проблем передавання інформації, розробивши технологію, яка дозволяла досягти рекордної ефективності. У 1997 р. німецький вчений J. Hagenauer ввів поняття "турбо"-принципу для опису стратегії, яка втілена в ітеративному турбо-декодуванні, а також в обмінних імовірнісних методах для кодів з низькою щільністю перевірок на парність (коди R. G. Gallager, LDPC-коди) та турбо-подібних кодів (turbo-like codes). По аналогії зі згортковими ТК в 1994 р. R. Pyndiah запропонував використовувати блокові ТК або турбо-коди-добутки (TPC – turbo-product codes). Слід зазначити, що дані коди мають меншу за згорткові ТК складність декодування, а також у них практично відсутній "пори́г помилок" (error floor). Але на практиці вони ефективні для невеликих кодових блоків та дуже високих кодових швидкостей [1, 2].

Кодова структура двовимірного TPC вимагає використання двох ідентичних компонентних блокових кодів (код з перевіркою на парність, Хеммінга, Боуза–Чоудхурі–Хоквінгема, Ріда–Соломона тощо) для кодування рядків та стовпців відповідно. Два блокових коди з'єднують послідовно, а оскільки коди незалежні і працюють по рядках і стовпцях, що забезпечує випадковість коду, то інтерлівер непотрібний. При реалізації операції кодування TPC вихідні дані записуються в двовимірний масив по рядках, після чого дані кодується по рядках за допомогою першого коду, а потім дані і перевіро́чні біти (або тільки дані) першого коду кодується за стовпцями другого коду. Для передавання в канал зв'язку дані з масиву зчитуються по рядках [2].

Для декодування TPC з жорсткими рішеннями застосовують методи Reddy–Robinson, заміни біта (bit-flipping, жорсткий Sum-Product). Основу математичного апарату методів м'якого декодування TPC складає алгебра логарифма відношення функцій правдоподібностей (log-likelihood ratio algebra). Застосовують наступні методи декодування: Hartmann–Nazarov зі швидким перетворенням J. S. Hadamard, Fang–Battail з упорядкуванням статистик (ordered statistics decoding), Chase–Pyndiah (тип II) зі списком кодових слів (augmented list decoding). З розвитком LDPC-кодів для TPC був застосований оптимальний метод посимвольного декодування Sum-Product та його субоптимальна модифікація Min-Sum. Ефективним підходом до декодування TPC також є методи груп MAP (максимум апостеріорної імовірності) та SOVA (метод декодування Вітербі з м'яким виходом) з використанням принципів J. Wolf, який у 1978 р. запропонував декодувати блокові коди на трелліс. Надійність м'яких рішень визначається їх абсолютним значенням, причому чим воно далі від нуля, тим вищою буде надійність рішення про прийнятий бінарний символ [1, 2].

Після формування математичної основи, завдяки структурним особливостям, TPC знайшли своє місце в системах цифрового передавання даних різного функціонального призначення.

1. Особливості оцінювання параметрів процесу передавання даних із використанням турбо-кодів / Р.Н. Кветний, Ю.Ю. Іванов, С.Г. Кривогибченко, О.В. Стукач // Метрологія та прилади. – К: ВКФ "Фавор ЛТД", 2017. – № 3 (65). – С. 25-32.

2. Codes and Turbo Codes: edited by C. Berrou / C. Douillard, M. Jezequel, G. Battail and others. – France, Paris: Springer, 2010. – 424 p.

**Hlushchenko A.A., Kompanets M.M., docent**

**INFORMATION PROCESSING METHODS BASED ON QLIK INDEXING ENGINE PLATFORM**

Keywords: reliability, business analytics, data parsing, control, QlikView, accuracy

While selling the clothes and accessories all the third-party stores present selling information in the report types standardized for this network, which is filled automatically, and can't be changed to the properties of users. So, developers often receive information in a form that is not suitable for processing and there is a need for the transformation of information in a convenient form to compare one data pack with other ones. So a package of various programs is needed (for opening, transforming, processing, storing in a single database and output information).

The purpose of this project is to develop a universal parser based on the QlikView BI interface and to process information by using the Qlik Indexing Engine platform to increase the speed and quality of received information processing.

The main advantage of using this interface is associative data model creation possibility. The associative data model keeps the records associated in a way which allows the QlikView(QV) document and its users to consume information and aggregate data cross dimensionally in any possible way. In a QV data model, all of the field values from all of the tables in the model are automatically associated among themselves based purely on the field names. [1] It is important to realize that a traditional join model database stored into memory will not deliver the same interactive associative experience. [2] Also such associative model allows accuracy increase by keeping the pure connections and associations between different tables and records.

In the parser development process of one the most valuable things is document structure keeping unchanged, or in case of periodic changes saving the logical headers of the data columns processed as well as their details. In order of incorrect data save prevention the limits of these names were set. Due to the variety of input data structures, filters and intermediate tables are needed to determine the types of reports to prevent the automatic load by false data processing algorithms. To achieve this goal, two steps were taken:

- Automatic renaming of documents with the addition of the name of the company-retailer from which they were received;
- In case of document structure varies depending on the department - determine the correct processing algorithm by visual cues available.

Two separate QV-programs and one database have been developed for this software application: data parsing application, database containing all the data parsed and loaded and interface application for data representation and analysis. In comparison with the universal parsers available in free access the developed one showed more exact results and data visibility in parallel with faster file processing speed.

The developed program will be used to process information from reports from various companies that sell products and further store information in a single structure, which will allow comparison of the data received with each other. The relevance of this development is confirmed by the real application and constant updating of parsers, developed specifically for processing data from different retailers. It's entirely a new way of using the Qlik Indexing Engine platform, which is used for information analysis, but has all the necessary tools for processing and transforming data structures.

References:

- 1) Garcia M. A. Qlik View for Developers /Miguel Ángel García, Barry Harmsen //Packt Publishing, Birmingham, 2017 – 546 p. - ISBN 978-1-78646-984-7
- 2) Redmond S. Mastering QlikView / Stephen Redmond //Packt Publishing, Birmingham, 2014–422 p. - ISBN 978-1-78217-329-8

**В. Ю. Кучерук д.т.н, професор; Я. О. Білецький студент, С. Тихонова**  
**МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ КОНТРОЛЕР СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА**

Ключові слова: витрати, температура, сонячний колектор, теплоносій, мікроконтролер, водопостачання.

З розвитком мікропроцесорної техніки виникає потреба у тому, щоб модернізувати системи контролю. Однією з таких систем є система контролю сонячного колектора. Проаналізувавши закордонні аналоги та врахувавши відсутність вітчизняних аналогів даної системи можна зробити висновок, що дана галузь є перспективною для розвитку.

Основною метою даної роботи є покращення ефективності використання зібраної сонячним колектором енергії, вдосконалення управління та автоматизація роботи сонячного колектора за рахунок використання мікропроцесорної техніки.

Сонячний колектор – це пристрій для збору енергії випромінювання Сонця у видимому та інфрачервоному спектрі. Зібрана енергія використовується для нагріву матеріалу – теплоносія або води [1]. Для передачі зібраної енергії використовуються тонкі мідні трубки заповнені легко закипаючою рідиною, які з'єднані з теплообмінником. В свою чергу теплообмінник виступає посередником при передачі тепла накопичувальному бойлеру. Таким чином, нагрівається вода для гарячого водопостачання та нагріву води в басейні [2].

Контролер можна використовувати в тих же галузях, де використовується і сонячний колектор, тобто для опалення промислових і побутових приміщень, гарячого водопостачання виробничих процесів, побутових потреб [3]. Найбільша кількість виробничих процесів, в яких використовується тепла та гаряча вода (30-90 °С), проходять в харчовій і текстильній промисловості, які таким чином мають найвищий потенціал для використання контролера [4].

Для вирішення поставленої задачі пропонується використовувати мікроконтролер, який в режимі реального часу отримує дані про стан температури та витрат теплоносія із відповідних вимірювальних каналів та здійснює регулювання стану сонячного колектора за допомогою системи управління. Вимірювальний канал температури теплоносія складається із первинного вимірювального перетворювача, який здійснює перетворення температури в різницю потенціалів та аналого-цифрового перетворювача, який оцифровує значення напруги з первинного вимірювального перетворювача. В свою чергу канал вимірювання витрат теплоносія складається з первинного вимірювального перетворювача, за допомогою якого значення витрат рідини перетворюється в послідовність імпульсів. Дану послідовність імпульсів підраховує лічильник імпульсів, який є другим компонентом вимірювального каналу.

В результаті аналізу поставленої задачі для розробки даного мікропроцесорного контролера були обрані методи турбінного витратоміру для вимірювання витрат та термоелектричного термометра для вимірювання температури. На основі обраних методів була розроблена структурна та функціональна схема приладу.

Список літературних джерел

17. ДСТУ-Н Б В.2.5-43:2010 «Настанова з улаштування систем сонячного теплопостачання в будинках житлового і громадського призначення».
18. Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник./М. П. Андрієшин, С. О. Канєвський, О. М. Капрпаш [та ін.] — Івано-Франківськ: ПП «Сімик». — 2004. — 160с.
19. Пістун С. П., Лесовой Л. В.] Нормування витратомірів змінного перепаду тиску. — Львів: Видавництво ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв», 2006. — 576 с. — ISBN 966-553-541
20. Дж. Фрайден Современные датчики. Справочник Москва: Техносфера, 2005. - 592 с. ISBN 5-94836-050-4

О.М.Слабик, аспірант, Ф.Д.Матіко, д.т.н., доц., Л.В. Лесовой, д.т.н., проф.

## ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ ВИТРАТОМІРІВ ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ

**Ключові слова:** системи вимірювання кількості теплової енергії, витратоміри змінного перепаду тиску, витрата теплоносія, коефіцієнт невизначеності вимірюваного значення.

Теплова енергія є одним з важливих складників енергетичного балансу кожного промислового підприємства та житлово-комунального господарства. Зважаючи на постійне зростання вартості основних видів палива, а, відповідно, і вартості теплової енергії (частка якої коливається в межах 50-70% від загальної суми витрат на оплату послуг житлово-комунального господарства), завдання зменшення витрат теплової енергії та її економного використання стають вкрай важливими та актуальними.

Ці завдання можуть бути вирішені тільки за умови реалізації точного обліку теплової енергії на всіх ділянках від її виробництва до кінцевого споживача. Налагодження точного обліку теплової енергії можливе тільки за наявності якісної нормативної бази та точних технічних засобів вимірювання кількості теплової енергії. Таким чином, розроблення точних та надійних систем вимірювання кількості теплової енергії є необхідною умовою для підвищення ефективності теплогенеруючих компаній та житлово-комунального господарства.

Система обліку теплової енергії для закритої системи тепlopостачання з одним подаючим та одним зворотним трубопроводом має структуру, що представлена на рисунку 1. Для реалізації такої системи необхідно вимірювати витрату теплоносія, температуру прямого та зворотного потоку а також тиск середовища прямого та зворотного потоку. Відповідно для обчислення кількості теплової енергії такої системі реалізують рівняння:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} Q \cdot (h_1 - h_2) dt$$

де  $Q$  – витрата теплоносія;  $h_1$  – питома ентальпія теплоносія в подаючому трубопроводі,  $h_1 = f(T_{\text{пр}}, P_{\text{пр}})$ ;  $h_2$  – питома ентальпія теплоносія в зворотному трубопроводі,  $h_2 = f(T_{\text{зв}}, P_{\text{зв}})$ ;  $t_1$  – час початку вимірювання;  $t_2$  – час кінця вимірювання.

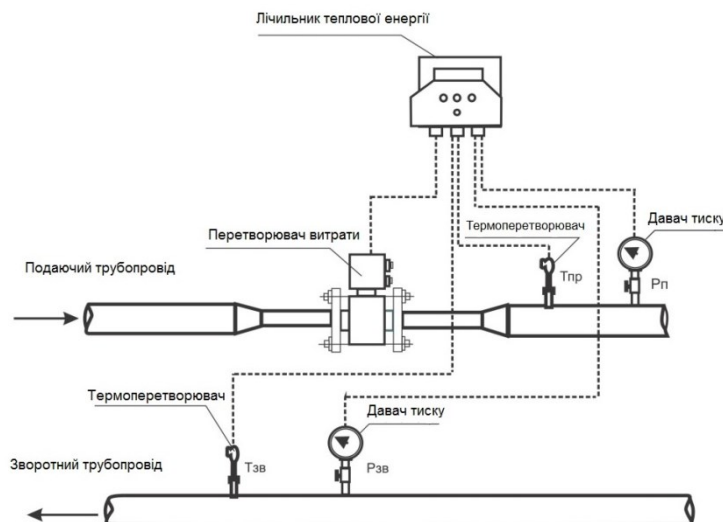


Рис.1. Структурна схема системи вимірювання кількості теплової енергії:  $T_{\text{пр}}$ ,  $T_{\text{зв}}$  – датчі температури прямої та зворотної води,  $P_{\text{пр}}$ ,  $P_{\text{зв}}$  – датчі тиску прямої та зворотної води

Як видно з рис.1, до складу системи вимірювання кількості теплової енергії входить перетворювач витрати. Зокрема, для закритої системи тепlopостачання достатньо застосувати один

перетворювач витрати. Характеристики перетворювача витрати суттєво впливають на характеристики системи вимірювання в цілому.

Для вимірювання витрати та кількості води та водяної пари в системах теплопостачання, застосовують витратоміри змінного перепаду тиску. Зокрема, ці витратоміри широко застосовують для вимірювання витрати у трубопроводах великого діаметру, що зумовлено їх перевагами: простотою конструкції, невисокою вартістю, можливістю виготовлення без калібрування первинного перетворювача витрати.

Проектування цих витратомірів у відповідності до ДСТУ ГОСТ 8.586.1-5:2009 вимагає врахування значної кількості вимог цього комплексу стандартів та інших нормативних документів, а також виконання трудомістких обчислень. Тому для проектування витратомірів змінного перепаду тиску застосовують системи автоматизованого проектування, зокрема розроблену за участю авторів САПР "Расход-РУ".

Авторами поставлено за мету розробити програмний пакет для автоматизованого проектування систем вимірювання кількості теплової енергії на основі витратомірів змінного перепаду тиску. Передбачено реалізацію за допомогою програмного пакету таких функцій:

- розрахунок властивостей теплоносіїв (води, водяної пари) для систем вимірювання кількості теплової енергії;
- проектування витратомірів змінного перепаду тиску у відповідності до вимог діючих нормативних документів ДСТУ ГОСТ 8.586.1-5:2009;
- проектування систем вимірювання кількості теплової енергії на основі витратомірів змінного перепаду тиску та мікропроцесорних обчислювачів кількості теплової енергії
- обчислення невизначеності вимірюваного значення кількості теплової енергії в системах побудованих за результатами проектування
- формування кінцевого звіту проекту з результатами обчислення властивостей теплоносія, конструктивних параметрів витратоміра та системи, результатами обчислення невизначеності результату вимірювання кількості теплової енергії.

Авторами реалізовано окремі модулі САПР систем вимірювання кількості теплової енергії, зокрема діалогові вікна вводу інформації до САПР (приклад діалогового вікна див.рис.2).

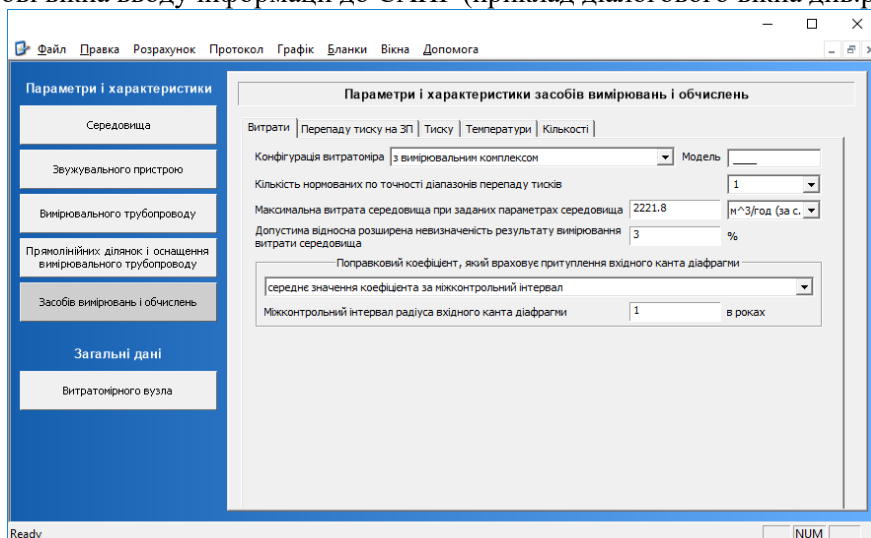


Рис. 2. Діалогове вікно САПР для введення параметрів засобів вимірювань.

Автоматизація проектування систем обліку теплової енергії дасть можливість підвищити якість проектування таких систем та точність обліку теплової енергії. Математичні моделі систем вимірювання кількості теплової енергії удосконалені під час розроблення САПР пропонуються до введення в нормативні документи з обліку теплової енергії.

### Список літературних джерел:

1. ДСТУ ГОСТ 8.586.1-5:2009 Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звукувальних пристроїв. – К.: Держспоживстандарт України, 2010.

**Р.В. Маслій, к.т.н., ст. викладач; В.В. Гармаш, к.т.н., ст. викладач;  
О.М. Кириленко, аспірант**

## **СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ У ЗОБРАЖЕННЯХ ОТРИМАНИХ У СКЛАДНИХ УМОВАХ ОСВІТЛЕННЯ**

Ключові слова—розпізнавання об'єктів, складні умови освітлення, локальний бінарний шаблон, бустінг, знешумлення зображення, вейвлет-трешолдінг, білатеральна фільтрація.

Під час роботи систем комп'ютерного зору у складних умовах освітлення отримані зображення характеризуються наявністю шумів. Це призводить не тільки до погіршення візуального сприйняття зображення, але й до зменшення вірогідності розпізнавання об'єктів у зображеннях.

Ослаблення шумів досягається фільтрацією. В літературі існує велика кількість методів фільтрації зображень. Були проаналізовані локальні методи фільтрації: гаусівська модель згладжування, фільтр околив Ярославського, SUSAN фільтр, білатеральний фільтр; методи, які ґрунтуються на диференційних рівняннях з частковими похідними: модель анізотропної фільтрації, модель повної варіації; фільтри в частотній області: жорсткий та м'який трешолдінг, вейвлет повна варіація; алгоритм нелокального усереднення [1, 2].

Аналіз вищезгаданих методів дозволяє зробити висновок про те, що більшість методів для фільтрації зображень зосереджені на півтонових зображеннях з додаванням штучного шуму. Шум зображення необов'язково є «білим» і може мати різні просторово-частотні характеристики (дрібнозернистий і крупнозернистий). І лише мала частина призначається для зображень, отриманих цифровою камерою з реальним шумом. Перспективними методами покращення якості зображень є методи на основі вейвлет-перетворень, які добре виявляють як низькочастотні, так і високочастотні характеристики сигналу в різних часових масштабах та дозволяють краще розрізнити шум та інформацію про зображення на кожному рівні розкладання, а також методи білатеральної фільтрації, які застосовують просторове зважене усереднення беззгладжування границь [3, 4].

Бустінг-методи привертають увагу дослідників, тому що вони здатні оброблювати зображення в режимі реального часу і є ефективними за критеріями помилок першого та другого роду. Найчастіше в бустінг-методах використовуються хаароподібні ознаки або їх модифікації. Перевагою даних ознак є простота в обчисленні їх значень, недоліком – вразливість до умов освітлення [5].

Розроблюючи системи розпізнавання об'єктів у складних умовах освітлення доцільно використати етап попередньої обробки зображень, в якому застосувати згадані вище вейвлет-трешолдінг та білатеральну фільтрацію. На етапі виявлення об'єктів для отримання ознак зображень доцільно застосувати локальні бінарні шаблони, які характеризуються більшою робастністю до змін освітлення в порівнянні з хаароподібними ознаками та бустінг-методи для навчання класифікатора.

### Список літературних джерел:

1. Гармаш В.В. Фільтрація зображень з використанням кратномасштабного білатерального фільтру / Гармаш В.В., Калашніков В.В., Кулик А.Я. // Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Технічні науки». – 2013. – № 4. – С. 79-86.
2. Buades, Antoni, Bartomeu Coll, and J-M. Morel. "A non-local algorithm for image denoising." 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05). Vol. 2. IEEE, 2005.
3. Tomasi, Carlo, and Roberto Manduchi. "Bilateral filtering for gray and color images." Computer Vision, 1998. Sixth International Conference on. IEEE, 1998.
4. Wang, Yang, and Haomin Zhou. "Total variation wavelet-based medical image denoising." International Journal of Biomedical Imaging 2006 (2006).
5. Маслій Р.В. Boosting-метод виявлення облич на зображенні / Роман Маслій, Анатолій Кулик // Штучний інтелект. – 2011. – №1. – С. 76-82.

**Р. М. Федоришин, к.т.н., доц.; Ф. Д. Матіко, д.т.н., доц.; Є. П. Пістун, д.т.н., проф.**  
**ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОТОКУ ПРИРОДНОГО**  
**ГАЗУ В СИСТЕМАХ ЙОГО ОБЛІКУ**

*Ключові слова:* вимірювання; природний газ; об'єм; температура; похибка; теплообмін; підвищення точності.

Сучасні комерційні системи вимірювання витрати та об'єму природного газу як правило складаються з таких основних чотирьох елементів: витратовимірювальний пристрій, вимірювальний перетворювач тиску газу, вимірювальний перетворювач температури газу та мікропроцесорний обчислювач (коректор). Від точності роботи кожного із цих елементів залежить точність результату вимірювання об'єму газу, зведеного до стандартних умов. У цій роботі розглядаються додаткові похибки вимірювання температури потоку природного газу та їх вплив на результат вимірювання об'єму газу, зведеного до стандартних умов.

В процесі транспортування та розподілу природного газу його параметри багаторазово змінюються, як в результаті виконання над газом роботи (стиск на компресорних станціях, редукування та підігрів на автоматизованих газорозподільвальних станціях (АГРС)), так і внаслідок зміни конструктивних параметрів газопроводу чи умов його прокладання. В результаті цього в газопроводах виникають ділянки зі змінною температурою газового потоку вздовж трубопроводу та ділянки, на яких температура газу відрізняється від температури навколишнього повітря. Поширеним є той факт, що саме на цих ділянках часто встановлюють системи обліку природного газу. Температурний режим таких ділянок, як правило, не враховується. Зокрема, не враховуються такі фактори, як різниця температур потоку газу та навколишнього повітря, зміна температури газу вздовж трубопроводу, зниження температури за рахунок втрат тиску (ефект Джоуля-Томсона), коливання температури потоку газу.

Всі названі фактори у сукупності приводять до виникнення додаткової похибки вимірювання температури газу ( $\Delta T$ ), яка у свою чергу веде до виникнення похибки вимірювання об'єму газу ( $\Delta V$ ). При цьому, додатна похибка вимірювання температури газу приводить до від'ємної похибки вимірювання об'єму. І навпаки – від'ємна похибка  $\Delta T$  спричиняє додатну похибку  $\Delta V$ . Для систем обліку на базі лічильників газу похибка величиною 1 °С приводить до похибки вимірювання об'єму газу, що приблизно дорівнює -0,33 %. А для систем обліку на базі методу змінного перепаду тиску похибка вимірювання об'єму газу становить приблизно -0,25 % при наявній похибці вимірювання температури газу величиною 1 °С.

На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень [1]-[3] встановлено, що похибка вимірювання температури газу містить такі складові:

- похибка, зумовлена теплообміном між гільзою термометростворювача та стінкою трубопроводу ( $\Delta T_T$ );
- похибка, зумовлена теплообміном стінки трубопроводу з навколишнім повітрям ( $\Delta T_x$ );
- похибка, зумовлена дроселюванням газу при його протіканні через пристрій звуження потоку ( $\Delta T_{op}$ );
- похибка, зумовлена зниженням температури газу при редукуванні тиску газу ( $\Delta T_{ped}$ );
- похибка, зумовлена інерційністю термометростворювача при періодичній зміні температури газу ( $\Delta T_{in}$ ).

Детальний аналіз цих складових похибок, а також перелік заходів для зменшення та усунення цих похибок наведено в [1]-[3].

Список літературних джерел

1. Y. Pistun, F. Matiko and R. Fedoryshyn. Additional Error of Flow Temperature Measurement and Its Influence on the Accuracy of Fluid Flowrate and Volume Measurement // Proceedings of 8th International Symposium on Fluid Flow Measurement, June 20-22, 2012, CDRom version, pp.1-18, Colorado Springs, Colorado, USA.
2. R. Fedoryshyn, F. Matiko. Heat Exchange between Thermometer Well and Pipe Wall in Natural Gas Metering Systems. Energy Eng. Control Syst., 2015, Vol. 1, No. 1, pp. 43 – 48. <https://doi.org/10.23939/jeecs2015.01.043>
3. Пістун Є.П., Матіко Ф.Д., Федоришин Р.М. Аналіз додаткової систематичної похибки вимірювання температури потоку природного газу в системах його обліку // Всеукраїнська семінар-нарада НАК Нафтогаз України “Облік природного газу та метрологія”, 13-17.03.2017 р., Львів. – с. 20-21



П.І.Кулаков, д.т.н., проф.; О.В.Мельничук, студент

## СИСТЕМА РАДІОЧАСТОТНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХОМИХ ТВАРИН З ДВОКОНТУРНОЮ ОРТОГОНАЛЬНОЮ АНТЕНОЮ

Ключові слова: радіо-частотна ідентифікація, двоконтурна ортогональна антена, рухомі тварини, ідентифікація тварин.

Можливість радіочастотної ідентифікації рухомих та нерухомих тварин зумовлена радіопрозорістю неметалевих перешкод (шкіра і тканини тварини, вода і пластикові деталі). Але, внаслідок певних технічних та біологічних факторів, кількість помилок ідентифікації у таких системах досить велика. Виходячи з цього, подальше вдосконалення систем радіочастотної ідентифікації тварин з пасивними транспондерами є актуальним завданням. Для ідентифікації тварин у доїльно-молочних відділеннях тваринницьких ферм в переважній більшості випадків використовуються транспондери і зчитувачі з рамковими антенами. Ці антени є складовою частиною коливальних контурів, що налаштовані на однакову резонансну частоту, значення якої складає 134 кГц. Конструктивно, пасивні транспондери для ідентифікації тварин являють собою монолітні герметичні вироби, які закріплюються на тварині. При перпендикулярному розташуванні антен зчитувача та транспондера ідентифікація взагалі неможлива. На практиці, в процесі руху тварин вздовж зчитувача, просторова орієнтація транспондера може бути довільною, а його відстань від площини антени сильно змінюватись. Наприклад, у випадку закріплення транспондера на вусі тварини, її голова під час проходження біля антени може бути піднятою, опущеною донизу або ж повернута вбік. У таких обставинах транспондер може бути виведений поза робочу зону або мати неприпустиму орієнтацію, що призведе до втрати інформації. Для розширення робочої зони зчитувача пропонується використовувати у його складі двоконтурну ортогональну антену, схематичне креслення якої наведено на рис. 1 [1-5].

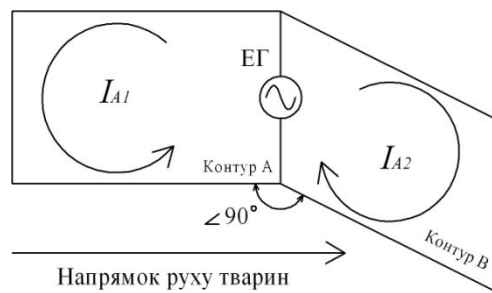


Рис. 1 – Схематичне креслення двоконтурної ортогональної антени зчитувача

Сімейство екіпотенціальних кривих електромагнітного поля двоконтурної ортогональної антени зчитувача наведено на рис. 2.

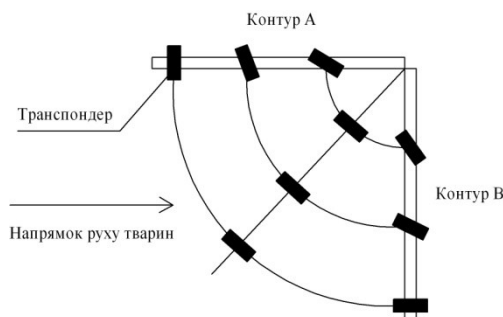


Рис. 2 - Сімейство екіпотенціальних кривих електромагнітного поля двоконтурної ортогональної антени зчитувача

Контур антени А розташований вздовж руху тварини, а контур В являє собою рамку, через яку тварина проходить. Збудження обох контурів відбувається від еквівалентного генератора (ЕГ), який створює в контурах струми  $I_{A1}$  та  $I_{A2}$ . Внаслідок суперпозиції полів кожного контуру, за умови ідентичності їх геометричних розмірів та рівності струмів  $I_{A1}$  та  $I_{A2}$ , в дальній зоні буде одержана діаграма направленості, що є еквівалентною до діаграми направленості магнітної дипольної антени повернутої на кут  $\pi/4$ . Розглядаючи рух тварини вздовж антен системи ідентифікації, стає очевидним, що при будь-якому куті орієнтації транспондера в процесі пересування він обов'язково потрапляє в робочу зону контуру А або контуру В.

Дослідження одноконтурної системи ідентифікації проводилися на основі групи з 132 тварин протягом трьох доїнь, а дослідження двоконтурної системи ідентифікації – на основі групи з 128 тварин, також протягом трьох доїнь. У першому випадку через прохід пройшло 396 тварин, а у другому випадку – 384 тварини. У всіх тварин транспондер знаходився в лівому вусі, одноконтурна антена та контур А двоконтурної антени знаходилися зліва від проходу.

При використанні одноконтурної антени у 14 випадках коди транспондерів не були зчитані внаслідок низької опущеної голови тварини, в результаті чого транспондер знаходився нижче антени. У 5 випадках тварини піднімали голову вище антени, у 9 випадках, коли тварина проходила вздовж антени, зчитування не відбувалось внаслідок зміщення тварини вправо. У 15 випадках спостерігалось ортогональне розташування площин антен транспондера і зчитувача внаслідок того, що голова тварини була повернута вправо. Результати функціонування системи ідентифікації з двоконтурною антеною надають суттєво кращі результати, ніж з одноконтурною. Процент успішних зчитувань кодів транспондерів збільшився з 89,1% до 99,7%. Випадки помилок ідентифікації, характерні для одноконтурної системи, тут не спостерігались. Зафіксований лише один епізод із невизначеною причиною, коли код транспондера не був зчитаний.

Таким чином, використання систем радіочастотної ідентифікації з одноконтурними антенами не забезпечує високу надійність зчитування кодів транспондерів в процесі руху тварин. Основними чинниками помилок є велика зона можливого вертикального і горизонтального положення голови тварини, а також довільний кут просторової орієнтації транспондера. Головною причиною відсутності зчитування коду в одноконтурних системах є ортогональне розташування антен транспондера і зчитувача. Використання двоконтурної антенної системи дозволяє розширити робочу зону і збільшити надійність системи ідентифікації тварин під час руху.

### Список літературних джерел

1. Кулаков, П. І. Елементи теорії вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння / П. І. Кулаков. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 220 с.
2. Кучерук, В. Ю. Двоконтурна система радіочастотної ідентифікації тварин / В. Ю. Кучерук, Є . А. Паламарчук, П. І. Кулаков // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 2014. - № 2 (47). - с. 140 - 144.
3. Кучерук, В. Ю. Засоби радіочастотної ідентифікації для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм / В. Ю. Кучерук, Є . А. Паламарчук, П. І. Кулаков // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 2014. - № 3 (48). - с. 145 - 150.
4. Кучерук, В. Ю. Підвищення достовірності ідентифікації тварин у інформаційно-вимірювальних системах контролю зоотехнічних параметрів / В. Ю. Кучерук, Є . А. Паламарчук, П. І. Кулаков // Методи та прилади контролю якості. - 2014. - № 2 (33). - с. 115 - 122.
5. Система радіочастотної ідентифікації тварин для стійлової доїльної установки : Патент на корисну модель 104010 Україна: А01К 29/00 А01J 5/00 / Кучерук В. Ю., Паламарчук Є. А., Кулаков П. І., Гнесь Т. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет ; заявл. 24.06.2015 ; опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1. - 2 с.

**С.М. Кватернюк, к.т.н., доц.; М.В. Варущечкіна, студ.; С.В. Мандебур, студ.;  
А.Ю. Козачук, студ.**

## **ОПОСЕРЕДКОВАНІ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНІ ВИМІРЮВАННЯ БІОФІЗИЧНИХ І СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕОДНОРІДНИХ БІОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ**

Ключові слова: мультиспектральний контроль, засіб контролю, телевізійний вимірювальний контроль, неоднорідні біологічні середовища, частинки, світлорозсіювання

Мультиспектральні телевізійні вимірювання можуть використовуватись для прикладних задач екологічного моніторингу, біомедичної діагностики та контролю якості продукції, що зводяться до опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів у приповерхневому шарі неоднорідних біологічних середовищ. Метою роботи є вдосконалення методу мультиспектрального телевізійного вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ, в якому за рахунок введення нових операцій та їх послідовності підвищується точність вимірювання. Поставлена задача досягається тим, що метод мультиспектрального телевізійного вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ, що включає біофізичні дослідження неоднорідних біологічних середовищ та встановлення їх біофізичних і структурних параметрів шляхом верифікації отриманих показників з результатами мультиспектральних вимірювань модельних (еталонних) неоднорідних біологічних середовищ з відомими параметрами, доповнено тим, що здійснюють аналіз мультиспектральних зображень на певних довжинах хвиль отриманих після виконання покрокової множинної регресії для відновлення необхідних біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ та формування відповідних регресійних рівнянь, які пов'язують ці параметри з результатами мультиспектральних вимірювань. За умови відомих параметрів неоднорідних біологічних середовищ за допомогою математичної моделі для прямої задачі розрахунку мультиспектральних параметрів у моделі неоднорідного біологічного середовища розраховуємо мультиспектральні параметри, тобто розв'язуємо пряму оптичну задачу [1-3]. Далі з використанням регресійних рівнянь, що пов'язують параметри неоднорідних біологічних середовищ та мультиспектральні параметри здійснюємо відновлення необхідних біофізичних чи структурних параметрів, тобто розв'язуємо обернену оптичну задачу [4, 5]. Знаючи біофізичні і структурні параметри неоднорідних біологічних середовищ, які використовувались на початку та порівнявши їх з параметрами отриманими після відновлення за регресійними моделями можливо оцінити похибки опосередкованого вимірювання параметрів неоднорідних біологічних середовищ. Провівши багатократне імітаційне моделювання похибок опосередкованого вимірювання біофізичних і структурних параметрів неоднорідних біологічних середовищ та отримавши закони їх розподілу можливо оцінити достовірність контролю параметрів неоднорідних біологічних середовищ.

### **Список літературних джерел**

1. Кватернюк С.М. Математичне моделювання переносу випромінювання у багатошарових неоднорідних біологічних середовищах для задач мультиспектрального вимірювального контролю та діагностики / С.М. Кватернюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2016. – № 2(32). – С. 57–63.
2. Моделювання спектральних характеристик шару епідермісу біотканини шкіри як об'єкту біомедичної діагностики / В. Г. Петрук, О. Є. Кватернюк, Ю. С. Любчик, С. М. Кватернюк // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 2. – С. 218–222.
3. Математичне моделювання впливу параметрів окремих шарів на спектральні характеристики неоднорідних біотканин / В. Г. Петрук, С. М. Кватернюк, О. Є. Кватернюк та ін. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2015. – № 3. – С. 50–56.
4. Methods and means of measuring control and diagnostics of biological tissues in vivo based on measurements of color coordinates and multispectral image / V. Petruk, O. Kvaternyuk, S. Kvaternyuk [et al.] // Proc. SPIE, 2015. Vol. 9816, 98161H (17 December 2015). – P. 98161H-1– 98161H-5; doi:10.1117/12.2229034.
5. Кватернюк С. М. Метод та засоби мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю стану неоднорідних біологічних середовищ / С. М. Кватернюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – № 1. – С. 15–22.

**С.М. Кватернюк, к.т.н., доц.; В.Г. Петрук, д.т.н., проф.; М.В. Варушечкіна, студ.;  
С.В. Мандебура, студ.; А.Ю. Козачук, студ.**

## **МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ ІНТЕГРАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗАБРУДНЕННЯ СТІЧНИХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯМ ВИЩИХ ВОДНИХ РОСЛИН**

Ключові слова: мультиспектральний контроль, засіб контролю, стічні води, забруднення, вищі водні рослини, біореактор

Відомо комплекс для очищення води від забруднень з підвищеною екологічною небезпекою, який складається із корпусу біореактора, заповненого водою і шаром вищих водних рослин, пристроїв штучного освітлення, трубопроводів подачі води на очищення та відводу очищеної води. При цьому корпус біореактора виконаний із використанням термоізоляційних матеріалів і додатково обладнаний світлопрозорим покриттям, а також системою терморегулювання внутрішнього простору і води, яка включає додаткові конвекторні трубопроводи, розташовані в корпусі біореактора, крім того як шар вищих водних рослин використовується ейхорнія (*Eichhornia crassipes*), поверхня води покрита додатковим плаваючим термоізолюючим матеріалом. Недоліком комплексу є відсутність контролю інтегральних параметрів забруднення води, що проходить через біореактор, а також контролю стану вищих водних рослин, які використовуються для очищення води. Метою роботи є підвищення ефективності очищення стічних вод з використанням вищих водних рослин, а також підвищення точності контролю інтегральних параметрів забруднення води, що проходить через біореактор. Поставлена задача досягається тим, що у комплекс для очищення стічних вод та мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю інтегральних параметрів забруднення з використанням вищих водних рослин введено ПЗЗ-камеру, блок імпульсного керування освітлювачами, мікроконтролерний пристрій, блок керування та обробки мультиспектральних зображень. Комплекс працює наступним чином. Корпус біореактора заповнюють стічними водами та відводять очищену воду за допомогою трубопроводів. Очищення стічних вод здійснюється за допомогою плаваючого шару вищих водних рослин. Вільна від вищих водних рослин поверхня води у біореакторі вкрита плаваючим термоізолюючим матеріалом, наприклад, пінополістиролом, спектральні характеристики коефіцієнту дифузного відбиття якого виміряні попередньо. У внутрішньому просторі біореактора та воді підтримується температура, оптимальна для розвитку того виду вищих водних рослин, який використовується за допомогою системи терморегулювання. Освітлення вищих водних рослин здійснюється світлодіодними освітлювачами у імпульсному режимі на характеристичних довжинах хвиль пігментів за допомогою блоку імпульсного керування освітлювачами. У верхній частині корпусу біореактора розміщена ПЗЗ-камера, що формує масив мультиспектральних зображень вищих водних рослин на тих довжинах хвиль, на яких працює світлодіодний освітлювач. Блок керування та обробки мультиспектральних зображень на базі персонального комп'ютера обробляє масив мультиспектральних зображень вищих водних рослин та перетворює його у концентрації основних хромофорів вищих водних рослин (хлорофілу а, хлорофілу b, каротиноїдів) у кожному пікселі зображення, що по суті є непрямим вимірюванням концентрацій хромофорів за допомогою методу мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю. Для підвищення точності мультиспектральних вимірювань здійснюється автокалібрування відносно об'єкту з відомими спектральними характеристиками коефіцієнту дифузного відбиття, а, у даному випадку, відносно плаваючого термоізолюючого матеріалу. Блок керування та обробки мультиспектральних зображень на базі персонального комп'ютера дозволяє оцінити стан вищих водних рослин, які використовуються для фільтрації стічних вод та контролю інтегральних параметрів їх забруднення за допомогою експертної системи. У випадку, коли значна кількість вищих водних рослин втрачає свої пігменти та гине, робота комплексу припиняється з заміною шару вищих водних рослин на нові рослини на стадії вегетативного росту. Крім того, персональний комп'ютер використовується для керування роботою світлодіодних освітлювачів та системою терморегулювання внутрішнього простору і води за допомогою мікроконтролерного пристрою.

**С.М. Кватернюк, к.т.н., доц.; М.В. Варущечкіна, студ.; С.В. Мандебура, студ.;  
А.Ю. Козачук, студ.**

## **МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИЙ ТЕЛЕВІЗІЙНИЙ КОНТРОЛЬ СЕРЕДНІХ РОЗМІРІВ ЧАСТИНОК У НЕОДНОРІДНИХ БІОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ**

Ключові слова: мультиспектральний контроль, засіб контролю, частинки, неоднорідні біологічні рідини, фітопланктон, еритроцити, суспензія

Мультиспектральні телевізійні вимірювання можуть використовуватись для прикладних задач вимірювального контролю параметрів суспензії частинок у неоднорідних біологічних рідинах. Зокрема, це вимірювання параметрів завислих частинок фітопланктону у водних середовищах, еритроцитів у крові, жирових частинок у молокопродуктах і т.д. При цьому необхідно визначити такі параметри суспензії частинок, як середні розміри частинок; концентрацію частинок у об'ємі суспензії; концентрації розчинених органічних та неорганічних речовин у навколишній рідині; концентрацію певних пігментів, які знаходяться локалізовано лише у завислих частинках суспензії; усереднену концентрацію пігментів на весь об'єм рідини і т.д. Розсіювальні частинки у неоднорідних біологічних середовищах у більшості випадків є оптично «м'якими» частинками, у яких дійсна частина комплексного показника заломлення близька до одиниці, а уявна може змінюватись у широких межах. Форма та розміри частинок у неоднорідних біологічних середовищах, а також їх структура на вміст пігментів визначають індикатрису розсіювання. Теорія Мі, що описує послаблення, поглинання і розсіювання світла однорідними кулям може бути використана для моделювання однорідних частинок з формою близькою до сферичної. Результати моделювання можуть порівнюватись з результатами вимірювань для латексних суспензій з відомими розмірами частинок. Відомо метод визначення в крові довжини агрегатів еритроцитів до 40 мкм, що включає взяття вихідної проби крові у обстежуваного пацієнта, поміщення проби в кювету, освітлення кювети світлом синього діапазону спектра і реєстрацію інтенсивності пропущеного кюветою випромінювання, причому вихідну пробу крові ділять на дві частини, одну частину гемолізують, у другій частині зберігають еритроцити у вигляді суспензії, кожен частину проби поміщають в різні кювети однакової довжини, вимірюють дві інтенсивності випромінювання, пропущеного зазначеною кюветою з розчином гемоглобіну і суспензією еритроцитів, і по відношенню логарифмів зазначених інтенсивностей судять про ступінь агрегації еритроцитів. Освітлення здійснюють на довжині хвилі в інтервалі 415 – 420 нм. При цьому другу частину проби крові додатково розбавляють до гематокриту близько 10%, наприклад, аутоплазмою обстежуваного пацієнта. Недоліком методу є низька точність вимірювання розмірів розсіювальних частинок у неоднорідному біологічному середовищі, у даному випадку, агрегатів еритроцитів у пробі крові за рахунок роботи на одній довжині хвилі.

Метою роботи є вдосконалення методу мультиспектрального телевізійного контролю розмірів розсіювальних частинок у неоднорідних біологічних середовищах, в якому за рахунок введення нових операцій та їх послідовності підвищується точність вимірювання геометричних розмірів розсіювальних частинок. Поставлена задача досягається тим, що метод мультиспектрального телевізійного контролю розмірів розсіювальних частинок у неоднорідних біологічних середовищах, що включає відбір проб, визначення якісного та кількісного складу завислих частинок за допомогою проточного мультиспектрального телевізійного вимірювального аналізу частинок неперервної дії, порівнянні отриманих даних з нормованими значеннями, доповнено тим, що формують мультиспектральні зображення поверхні неоднорідних біологічних середовищ з розсіювальними частинками на довжинах хвиль 300, 370, 440, 510, 580, 650, 720, 790, 860, 930 та 1100 нм за допомогою ширококугової ПЗЗ-камери, перемикаємого барабанного вузькосмугового оптичного фільтра та джерела освітлення з рівномірним спектром випромінювання від 270 до 1200 нм, причому оптичний фільтр перемикається кроковим двигуном з використанням мікропроцесорного блоку керування, аналіз отриманих мультиспектральних зображень здійснюють за допомогою персонального комп'ютера, що дозволяє опосередковано виміряти середні розміри розсіювальних частинок у кожному фрагменті зображення з використанням регресійного рівняння, яке пов'язує розміри частинок з результатами мультиспектральних вимірювань.

**С.М. Кватернюк, к.т.н., доц.; О.Є.Кватернюк, викл.; М.В. Варушечкіна, студ.;  
С.В. Мандебур, студ.; А.Ю. Козачук, студ.**

## **МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНА ТЕЛЕВІЗІЙНА ВИМІРЮВАЛЬНА ДІАГНОСТИКА ЗЛОЯКІСНИХ ПУХЛИН З ВВЕДЕННЯМ ПІДШКІРНО ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО ПРЕПАРАТУ**

Ключові слова: мультиспектральна діагностика, флуоресценція, пухлина, неоднорідні біологічні рідини, фітопланктон, еритроцити, суспензія

Методи оптичної діагностики злоякісних пухлин успішно використовуються у експериментальній онкології та забезпечують високу достовірність раннього виявлення раку. Зокрема, відомо метод діагностики меланоми, що базується на збудженні біологічного об'єкта за допомогою лазера з довжиною хвилі 320-340 нм, визначенні спектра люмінесценції біологічного об'єкта і наступному порівнянні спектра люмінесценції біологічного об'єкта зі спектром люмінесценції здорової шкіри, що має довжину хвилі 400-430 нм при максимальному піку відносної інтенсивності, причому спектр люмінесценції злоякісної меланоми має додатковий максимальний пік відносної інтенсивності, довжина хвилі основного максимального піка відносної інтенсивності складає 400-410 нм, а довжина хвилі додаткового піка відносної інтенсивності - 510-530 нм. Також відомо метод діагностики злоякісних пухлин, що передбачає введення в організм препарату Україн, як флуоресцентного засобу, причому препарат Україн вводять підшкірно в нижню третину передпліччя в кількості не менше 0,1 мл, і за зникненням флуоресценції в діапазоні 231-410 нм в місці введення протягом 12 годин діагностують наявність пухлин. Недоліком методу є відсутність процедури вимірювання інтенсивності флуоресценції, а також дослідження біомедичних зображень ділянки шкіри у місці введення флуоресцентного засобу.

Метою роботи є вдосконалення методу мультиспектральної телевізійної вимірювальної діагностики злоякісних пухлин для підвищення достовірності діагностики злоякісних пухлин. Поставлена задача досягається тим, що метод доповнено тим, що здійснюють аналіз мультиспектральних зображень поверхні шкіри людини в місці введення препарату отриманих за допомогою CCD-камери та перестроюваного оптичного фільтру у видимому оптичному діапазоні при освітленні місця введення препарату в ультрафіолетовому діапазоні після чого здійснюють обробку мультиспектральних зображень з отриманням чисельних параметрів інтенсивності флуоресценції у кожному пікселі зображення в залежності від часу, який пройшов після введення препарату і на основі обробки масиву зображень інтенсивності флуоресценції, отриманих у різні проміжки часу після введення препарату. Ультрафіолетовим випромінюванням від джерела в діапазоні 230-340 нм, що проходить через дифузний розсіювач, рівномірно освітлюють досліджуваний зразок поверхні шкіри людини в місці введення флуоресцентного препарату. Об'єктивом формують зображення досліджуваного зразка через перестроюваний оптичний фільтр у видимому оптичному діапазоні 360-720 нм на вхід CCD-камери. За допомогою CCD-камери формують масив мультиспектральних біомедичних зображень ділянки шкіри у місці введення флуоресцентного засобу. За допомогою мікроконтролерного пристрою фіксують і запам'ятовують цифрові зображення з виходу CCD-камери. За допомогою блоку обробки мультиспектральних зображень з використанням експертної системи на основі персонального комп'ютера розраховують інтенсивність флуоресценції у кожному пікселі зображення. На основі обробки масиву зображень інтенсивності флуоресценції, отриманих у різні проміжки часу після введення препарату за допомогою експертної системи здійснюють підтримку прийняття діагностичного рішення про злоякісний стан пухлини. Наявність злоякісної пухлини призводить до зникнення флуоресценції в місці введення препарату до 12 годин. Відсутність злоякісної пухлини пов'язана з наявністю флуоресценції в місці введення препарату від 12 до 120 годин. Для підвищення точності діагностування експертну систему блоку обробки мультиспектральних зображень, керування та підтримки прийняття діагностичного рішення на основі персонального комп'ютера навчають на основі обробки біомедичних зображень поверхні шкіри людини в місці введення флуоресцентного препарату при відомій гістологічно підтвердженій наявності злоякісних пухлин у організмі пацієнтів.

**С.М. Кватернюк, к.т.н., доц.; О.Є.Кватернюк, викл.; М.В. Варушечкіна, студ.;  
С.В. Мандебур, студ.; А.Ю. Козачук, студ.**

## **СЕГМЕНТАЦІЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПОШКОДЖЕНИХ ДІЛЯНОК НЕОДНОРІДНИХ БІОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ**

Ключові слова: мультиспектральні зображення, сегментація, неоднорідні біологічні середовища, фільтрація зображень, матриці

Для оцінювання стану пошкодження поверхні неоднорідних біологічних середовищ мультиспектральними методами необхідно виміряти площу пошкодженої ділянки і порівняти її з площею всього об'єкту, що вимагає сегментації мультиспектральних зображень. Метою роботи є вдосконалення методів опрацювання мультиспектральних зображень, зокрема, їх сегментації, фільтрації та виділення пошкодженої ділянки з метою зменшення похибок вимірювання площі відповідних сегментів.

Визначивши для кожного пікселя мультиспектрального зображення неоднорідного біологічного середовища найближчий елемент зі шкали зразків, який відповідає певним біофізичним параметрам, отримуємо матрицю  $M$ , у якій кожному пікселю початкового зображення відповідатиме елемент з номером зі шкали зразків. Для сегментації мультиспектральних зображень розділимо початкову матрицю  $M$  на ряд підматриць, кількість яких рівна числу елементів шкали. Кожну з отриманих підматриць можна представити у вигляді бінарного зображення, яке відповідає ділянці поверхні неоднорідного біологічного середовища з біофізичними параметрами, близькими до певного значення, що визначене для цього елемента шкали. При цьому площа кожного із сегментів розраховується, як сума ненульових елементів відповідної підматриці.

Далі необхідно виділити зону пошкодженої ділянки неоднорідного біологічного середовища на фоні неушкоджених ділянок. Для цього необхідно об'єднати сегменти неоднорідного біологічного середовища, біофізичні і структурні параметри яких знаходяться в межах норми, а також, відповідно, сегменти у яких ці параметри виходять за нормальні межі. При цьому, оскільки ми маємо справу з бінарними зображеннями, у яких зони з певними параметрами позначено логічною одиницею, а решта зображення заповнено нулями, то об'єднання сегментів у відповідні зони може бути здійснено за допомогою операції диз'юнкції (логічного АБО) підматриць. Особливістю отриманих зображень, як окремих зон поверхневого пошкодження, так і загального зображення є наявність на зображеннях високочастотного шуму, а також перекриття зон пошкодження із зонами, які відповідають неушкодженим фоновим ділянкам. Для усунення цього необхідно використати фільтрацію отриманих зображень.

Традиційно для фільтрації монохромних зображень використовують різноманітні усереднюючі фільтри на основі ковзного вікна. При цьому використовують заміну значень елементів, які потрапили у ковзне вікно на середнє арифметичне значення або медіану. Однак, у нашому випадку ми маємо матрицю, кожний з елементів якої відповідає номеру елемента шкали. Це не дозволяє використати значення медіани чи середнього арифметичного для усереднення. Тому використаємо для цього значення моди – того з елементів під матриці у ковзному вікні, який зустрічається найчастіше. За рахунок використання наведеного алгоритму фільтрації у ковзному вікні з використанням значення моди зменшуються високочастотні шуми на зображенні та його окремих сегментів, а також зменшується перекриття зон. Однак, при використанні описаного алгоритму фільтрації у ковзному вікні збільшуються похибки вимірювання як розмірів поверхневих пошкоджень, так і кожної з зон зображення.

Для вимірювань мультиспектральних параметрів може використовуватись освітлення об'єкту дифузно розсіяним світлом, а спостерігач знаходиться на нормалі до поверхні. При цьому допускається, що фотоприймач може мати кутову апертуру до  $10^\circ$ . Такі умови геометрії вимірювань накладають певні обмеження на лінійні розміри фотоприймача, відстань до об'єкта та побудову джерела випромінювання, яке повинно рівномірно освітлювати об'єкт. Однак, внаслідок того, що поверхня об'єкту дослідження в зоні спостереження відрізняється від плоскої і має певну кривизну, то забезпечити умови геометрії вимірювань можливо лише в центрі об'єкту. Тому, оскільки на краях об'єкту вісь камери буде відрізнятись від нормалі до поверхні виникатимуть похибки вимірювання, які призведуть до відмінностей у сегментації зон.

**Я. А. Кулик, к.т.н., ст. викл.**

## **ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ «ІНТЕРНЕТ ДЛЯ РЕЧЕЙ» ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ**

Ключові слова: Інтернет для речей, інформаційно-вимірвальна система, інтелектуальні системи, обробка вимірвальних даних.

IDC[1] встановив етап з деякими загальними ідеями щодо майбутнього напрямку цифрового перетворення:

- витрати IoT до 2020 року складуть \$1,3 трлн., при цьому найуспішніший виробничий сектор складе 22% [2].
- до 2019 року 43% даних IoT буде оброблено з використанням хмарних технологій [3].
- зв'язки між речами(Things) досягнуть 30 мільярдів кінцевих точок до 2020 року, і до 2025 року ця цифра може досягати 80 мільярдів [4].
- більше половини витрат на IT будуть завдяки бізнес-лінії (LOB) [5].

Серед цих змін підприємства також значно переносять свої цифрові стратегії. КіркКемпбелл, президент і головний виконавчий директор IDC, заявив, що вже третина ВВП вже оцифрована, і цифровий буде основою того, що компанії постачають своїм клієнтам до 2020 року. Він також зазначив, як хмара розвивається до версії 2.0, де краю та розподілена обробка стають важливими факторами в загальній цифровій інфраструктурі. Кемпбелл також підкреслив, що IoT буде продовжувати бути вертикалізованим (рис. 1).

Аналогові дані представляють собою природний і фізичний світ і всюди або, інакше кажучи, є частиною всього; світло, звук, температура, напруга, радіосигнали, вологість, вібрація, швидкість, вітер, рух, відео, прискорення, частинки, магнетизм, струм, тиск, час і місце розташування. Це найстаріший, найшвидший і найбільший з усіх великих даних, але це виклик IT, оскільки він має більше двох значень, які мають цифрові дані.

Датчики і пристрої IoT завжди з'єднуються, "безперервне з'єднання" для продуктів і користувачів дає основні переваги:

- моніторинг даних в реальному часі : безперервний моніторинг, який забезпечує постійне і в реальному часі знання стану та використання продукту або користувача в ринкових або промислових умовах.
- підтримка : завдяки постійному моніторингу, тепер можна натискати оновлення, виправлення, виправлення та управління, коли це потрібно.

Вимірювання і підключення в режимі реального часу. Визначення реального часу відрізняється від людей, які не розуміють IoT, ніж від людей, які роблять це. Реальний час фактично починається назад на датчику або момент отримання даних. Реальний час для IoT не починається, коли дані потрапляють на мережевий перемикач або комп'ютерну систему - тоді інформація застаріла і неактуальна.

Спектр огляду вимірювання. "Спектр огляду" даних, отриманий за даними IoT, стосується його місця в п'ятифазному потоці даних: в режимі реального часу, у русі, на початкових етапах, у спокої та в архіві. Нагадаємо, що реальний час для IT на датчику або точці придбання та аналітики потрібні для визначення негайної реакції системи управління та відповідного коригування, наприклад, у військових програмах або точних робототехніках. На іншому кінці спектра, архівні дані в центрі обробки даних або хмарності можуть бути отримані для порівняльного аналізу з новими даними в русі, щоб отримати уявлення про сезонну поведінку турбіни, що виробляє електричну енергію. Отже, розуміння великих даних в IoT може бути витягнуте за спектром часу та місця розташування.

Безпосередність вимірних даних проти глибини інформативності. Завдяки сучасним традиційним рішенням комп'ютерів та IoT, існує компроміс між швидкістю та глибиною. Тобто можна отримати негайний "Час для розуміння" на початковій аналітиці, такі як порівняння температури або швидке перетворення Фур'є, щоб визначити, чи обертаються колеса на трамваї призведе до нещасного випадку, що загрожує життю. Безпосередній час для розуміння має вирішальне значення. На іншому кінці спектру - це час, необхідний для отримання глибокого аналізу даних для розуміння процесу.



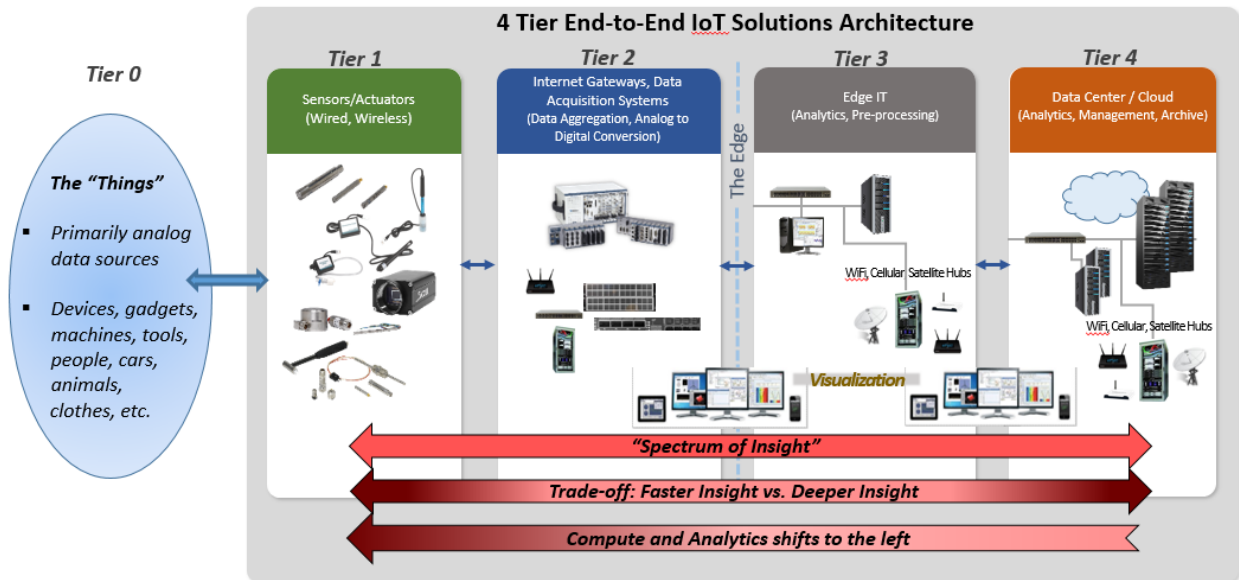


Рис. 1. Загальна архітектура інформаційно-вимірювальної системи з використанням технології «Інтернет для речей»

Зсув ліворуч на шкалі «Безпосередність вимірюваних даних проти глибини інформативності». Розглянемо взаємовиключну мету отримання як негайної, так і глибокої розуміння, як було обговорено вище. Задача отримати як негайне, так і глибоке розуміння даних призведе до вишуканого аналізу високих показників і аналізу даних, що зазвичай зберігається для обласного або центра обробки даних (Tier 4 в рішенні IoT, рис. 1), для переміщення вліво від кінця.

Інфраструктура рішень IoT. Детальні і громісткі обчислення для аналізу даних будуть розташовані ближче до джерела даних, в точці збору та накопичення даних в датчиках (Tier 1) і мережевих шлюзів (Tier 2).

Список літературних джерел:

1. IDC Information. IndustryClouds, andtheNextIndustrialRevolution//DR2017\_GS2\_SL, February 2017.
2. Chaouchi, Hakima. TheInternetofThings/Chaouchi, Hakima, London. -Wiley-ISTE, 2010.
3. MaraiyaKiran. WirelessSensorNetwork: A ReviewonDataAggregation / KiranMaraiya, KamalKant, NitinGupta //InternationalJournalofScientific&EngineeringResearch. -Volume 2, Issue 4, April 2011.
4. Weber. InternetofThings: LegalPerspectives / Weber, Rolf H., RomanaWeber. -Berlin: Springer, 2010.
5. Poslad. UbiquitousComputingSmartDevices, SmartEnvironmentsandSmartInteraction. Poslad, Stefan. -Wiley, 2009. - ISBN 978-0-470-03560-3.

**В. Є. Кривоносов, доцент, С. М. Злепко, д.т.н., професор, Т. А. Чернишова,  
Я. І. Ярославський**

**АЛГОРИТМ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ БОЛТОВОГО СТРУМОПРОВІДНОГО  
З'ЄДНАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ТОМОГРАФА**

Ключові слова: болтове з'єднання, комп'ютерний томограф, живлення медобладнання, мережі живлення, температура болтового з'єднання.

Прилади контролю та діагностики стану болтових струмопровідних з'єднань, що працюють в різних мережах живлення при постійній зміні струмового навантаження мають конструктивні відмінності які можна класифікувати.

Пристрої, що діагностують стан:

- 1) важкообслуговуємих болтових струмопровідних з'єднань;
- 2) болтових струмопровідних з'єднань двопровідних кіл постійного та змінного струмів;
- 3) болтових струмопровідних з'єднань томографа, підключеного до мережі змінної трьохфазної напруги.

Логічна схема пристрою представлена на рис 1.

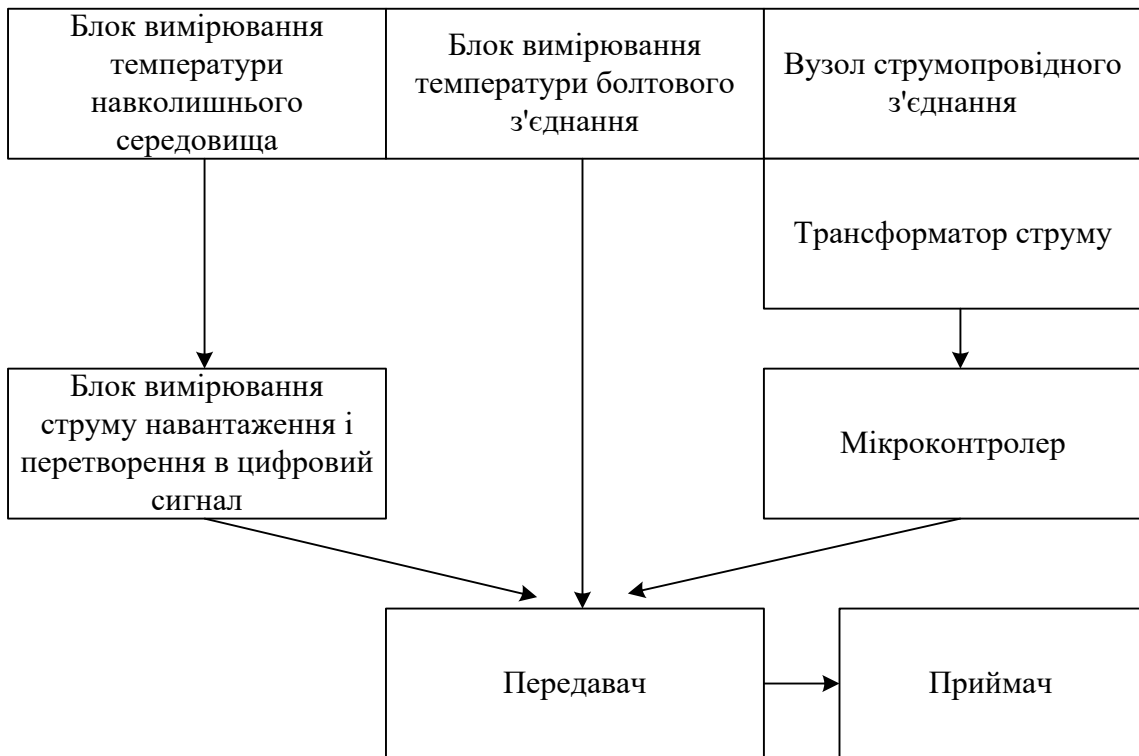


Рис. 1 – Логічна схема пристрою контролю та діагностики стану болтового струмопровідного з'єднання

Пристрій містить: вузол струмопровідного з'єднання; блоки вимірювання температур болтового з'єднання і навколишнього середовища; цифровий термометр DS 1821 T фірми Dallas (Maksim), який забезпечує пряме перетворення температури в цифровий код за однопровідним інтерфейсом. Блок вимірювання струму навантаження і перетворення на цифровий сигнал, виконано у вигляді трансформатора і перетворювача струму Е 854 15 Ц із портом RS-485, і що дозволяє вимірювати струм від 0 – 5 А; Програмний алгоритм роботи пристрою контролю та діагностики за станом болтового струмопровідного з'єднання представлено на рис. 2.

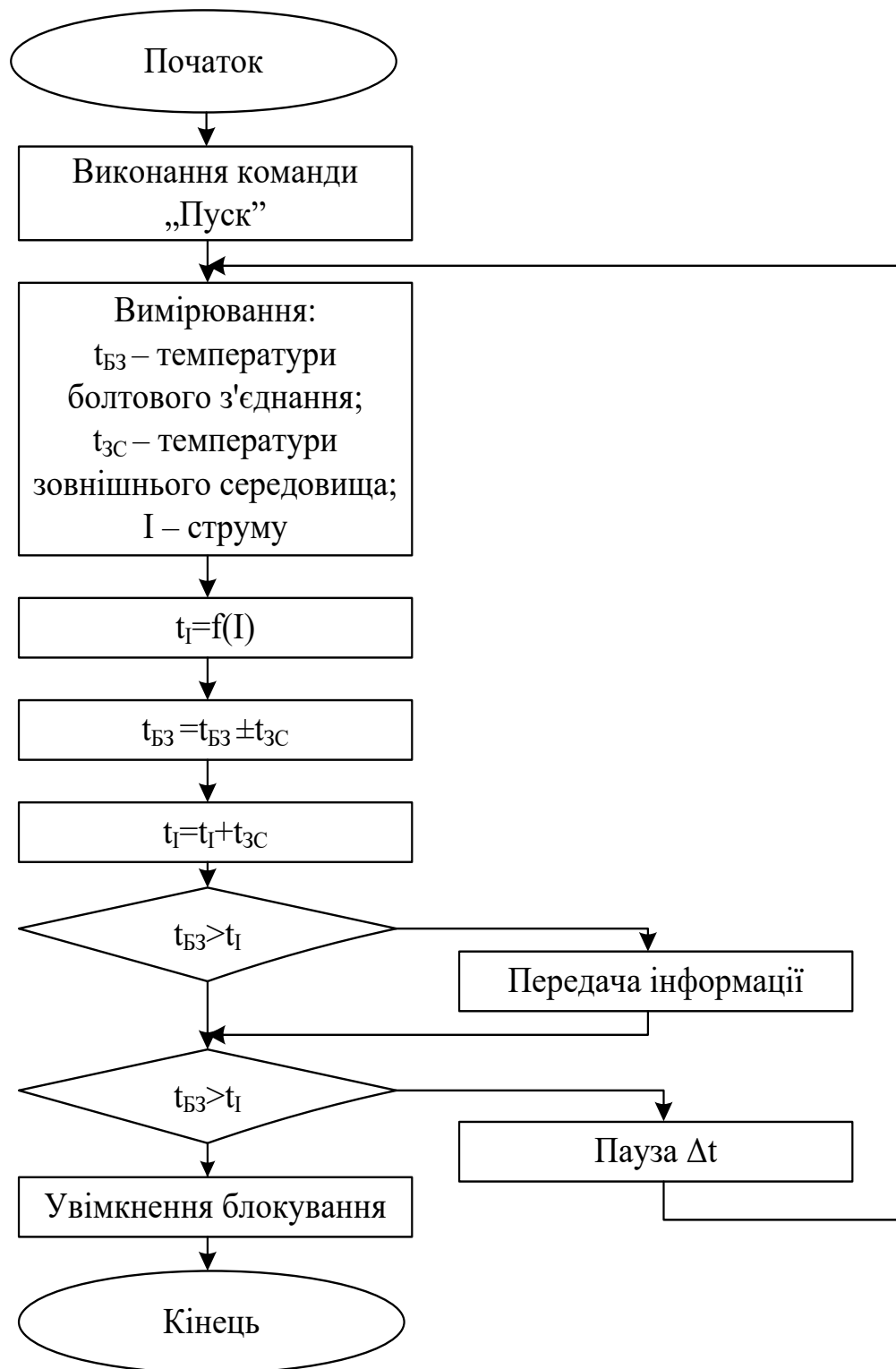


Рис. 2 – Програмний алгоритм роботи пристрою контролю та діагностики за станом, болтового струмопровідного з'єднання.

Пристрій працює в двох режимах: нормальному та аварійному. Початок аварійної ситуації характеризується порушенням щільності болтового з'єднання та адекватним йому збільшенням перехідного опору. Це в свою чергу, зумовлює виділення тепла, величина якого пропорційна квадрату струму навантаження, перехідному опору болтового з'єднання і часу протікання струму.

**O.V. Bisikalo, Dr. Sc., Prof.; P.I. Kulakov, Dr. Sc., Prof.; N.V. Lyahovchenko, Ph.D., Assoc.**

**NEW METHODS OF KNOWLEDGE MONITORING OF MASTERS IN  
INFORMATION SYSTEMS IN THE INTERNATIONAL PROJECT “MASTIS” OF  
ERASMUS + PROGRAM**

Key words: knowledge monitoring, method, masters' training, information systems, MASTIS project, ERASMUS + program.

According to the conditions of Vinnytsia National Technical University (VNTU) participation in the European Union international project "MASTIS" of the program ERASMUS +, the training of masters in information systems should correspond to innovative methods of teaching and knowledge control [1]. To fulfill the obligations of VNTU to ensure the objectives of the "MASTIS" project, the Scientific Council of VNTU approved the relevant educational program aimed preparation of masters in the specialization "Information systems and Internet of things" from the 1st of September 2017 in framework of the specialty and the license 151 – Automation and computer-integrated technologies. The objective of this research is to substantiate a new methods for knowledge monitoring of students studying in the specialization "Information systems and Internet of things" in accordance with the requirements of "MASTIS" project. Important difference of the experimental program that promotes student mobility practically, is parallel teaching all courses in English and Ukrainian. Master students will receive all study materials in both languages, but they will choose language in exams, tests and other monitoring activities at will. Participating in the competition to obtain a master's degree by the program "Information Systems and the Internet of Things" in accordance with applicable requirements of "MASTIS" is open to all those with a bachelor's degree without limitation on specialty. By this time the European partners of the international project “MASTIS” conducted the following trainings on the innovative teaching methods developed and implemented by them:

- Paolo Spagnoletti and Silvia Menegazzi, LUISS – Innovation tools and platforms to create competencies, Digital tools for open, collaborative and adaptive learning: current trends in online education;

- Agnius Liutkevičius, Ramūnas Kubiliūnas, Gytis Cibulskis, KTU – Experiences from study programmes' self-evaluation; Information Technologies of Distance Education; Advanced Learning Technologies in Higher Education;

- Tero Päivärinta, Oskar Gedda, Peter Parnes, Ali Awad, LTU – Learning Diaries as a form of learning and examination; Virtual teaching environment; Demonstration / Participation in InfoSec Lab;

- Muhammed Geuad (WWU Münster), Tero Päivärinta (LTU) – Pedagogical basics and values (practice-based teaching vs. science-based teaching); Experiences with industry cooperation in teaching;

- Robert Leskovar, Andrej Skraba, Gregor Lenart, Borut Jereb (Maribor University) – Real-time e-lecture; System dynamics with practical examples; Teaching by design thinking; Gamification + case studies.

Most of the training methods considered assumes the use of the team style of the work of students and an assessment of the results of their training on the basis of the final result of the overall project team. The project method of monitoring students' knowledge characterizes: the possibility of independent decision-making by each participant; the need to coordinate his actions with the actions of other team members; the responsibility for a certain stage of work; the possibility of assessing the contribution of each participant to the overall result. At the last "MASTIS" meeting in Bled (Slovenia), authors of the program "Information Systems and the Internet of Things" together with authors of trainings answered the numerous questions and took part in discussions. In general the meeting passed interesting, in a relaxed atmosphere, and the new program aroused considerable interest at the European partners of "MASTIS" project. So, we recommend the project method for knowledge monitoring to students studying at VNTU in the specialty "Information Systems and Internet of Things" as being most in line with the experience of European partners of the “MASTIS” project in the preparation of masters in information systems field.

**List of sources**

1. Establishing Modern Master-level Studies in Information Systems / MASTIS. – Available: [www.mastis.pro](http://www.mastis.pro).

Н. В. Івчук, студентка; Ю. Ю. Іванов, к.т.н., ас.

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ КОДІВ З НИЗЬКОЮ ЩІЛЬНІСТЮ ПЕРЕВІРОК НА ПАРНІСТЬ У ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

Ключові слова: дані, завадостійке кодування, LDPC-код, перевірна матриця, декодування, обмінні ймовірнісні методи, Sum-Product, Min-Sum.

У 1948 р. американський учений К. Е. Шеннон опублікував фундаментальну роботу, в якій запропонував метод об'єктивного вимірювання кількості інформації, а також сформулював математичні принципи кодування і передавання даних. Для підвищення вірогідності переданих даних він запропонував застосовувати завадостійке кодування (error-correcting coding), подальший розвиток якого пов'язаний з роботами багатьох науковців. З моменту створення основ передавання даних розроблено велику кількість завадостійких кодів, і до теперішнього часу дослідження в цьому напрямі інтенсивно розвиваються. В сучасних цифрових системах зв'язку використовується завадостійке кодування, яке дозволяє, на відміну від криптографічного шифрування й ущільнення даних, ефективно боротися з помилками в каналі, забезпечуючи надійність і вірогідність переданих даних (кращі показники коефіцієнта бітових помилок), а також енергетичний вигравш [1].

Одним із найбільш поширених та ефективних методів декодування є LDPC-код (Low-Density Parity-Check code – код з малою щільністю перевірок на парність) або код R. G. Gallager. Даний код представляє собою особливий випадок лінійного блокового коду з перевіркою парності. Перевагою LDPC-коду є мала щільність значущих елементів перевіркової матриці та існування ефективного методу декодування з лінійною складністю від довжини кодового слова. Один з основних недоліків LDPC-кодів, який виникає через специфічну структуру перевіркової матриці, є квадратична залежність складності кодування від довжини коду, хоча існують підходи, що дозволяють при ретельному проектуванні знизити складність кодування до лінійної. Крім того, апаратна реалізація часто буває складна, не дозволяє простої зміни кодової швидкості, довжини блоку, оскільки при цьому необхідно формувати нову перевірочну матрицю коду [2].

Слід зазначити, що описати структуру LDPC-коду можна декількома способами: перевірковою матрицею, дводольним графом M. Tanner, спеціальними способами. Зазвичай LDPC-коди описуються за допомогою перевіркової матриці, яка містить переважно більшість нулів та малу кількість одиниць. Для формування перевіркової матриці використовують два методи: генерація початкової матриці з використанням псевдовипадкового генератора (випадкові коди); застосування методів, які засновані на групах і кінцевих полях (структуровані коди).

Декодування LDPC-кодів зводиться до розв'язання задачі глобальної оптимізації, а саме задачі цілочисельного програмування, та полягає у пошуку максимального значення цільової функції, яка характеризується нелінійністю, багато екстремальністю та високою розмірністю простору пошуку. Методи декодування LDPC-кодів можна інтерпретувати як реалізацію техніки, відомої як обмінні ймовірнісні методи (message passing methods), які ґрунтуються на ітеративному декодуванні повідомлення до того моменту, коли буде отриманий необхідний результат, або процес завершиться за певним критерієм зупинки. Прикладом є метод оцінювання символів з розповсюдженням довіри (belief propagation), який розроблений J. Pearl у 1982 р. для роботи з імовірнісними моделями на графах. Даний метод, модифікований для оптимального м'якого посимвольного декодування, має назву Sum-Product, а субоптимальна модифікація – Min-Sum. Вони використовують алгебру логарифма відношення функцій правдоподібності, в якій операції виконуються над кінцевим полем  $GF(2)$ . Для оптимального декодування послідовності символів застосовують методи D. Chase в евклідовому просторі. У деяких випадках можна застосувати жорстке посимвольне декодування, наприклад метод зміни бінарного символу (bit-flipping) [2].

Завдяки структурним особливостям та високій ефективності LDPC-коди знаходять своє місце в системах цифрового зв'язку різного функціонального призначення.

1. Іванов Ю. Ю. О некоторых аспектах итеративной стратегии декодирования турбо-кодов: ретроспектива и «турбо»-принцип: матер. IV международной научно-практической конференции «Информационные технологии и компьютерная инженерия» / Ю. Ю. Иванов, А. Я. Кулик. – Винница: ВНТУ, 28–30 мая, 2014 г. – С. 157–160.

2. Johnson S. J. Iterative Error Correction. Turbo, Low-Density Parity-Check and Repeat-Accumulate Codes / S. J. Johnson. – New York: Cambridge University Press, 2009. – 356 p.

**О. Л. Заміховська, к.т.н., доц.; О. І. Белей, к.т.н.;**  
**О. М. Лисканич, провідний інженер**

## **УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ РІВНЯ ПАВОДКОВИХ ВОД**

Ключові слова: паводкові води, рівень, інформаційно-вимірювальна система, контроль.

Недостатня і несвоєчасна прогнозованість про рівень розвитку повеней (водопілля), паводків і селевих потоків, а також відсутність сучасного, повноцінного та цілісного захисного комплексу призводять до щорічних збитків у аграрному, промисловому та соціальному секторах економіки, а також людських жертв (30 чол. у 2008 р., Україна). При цьому середньорічні збитки від затоплення територій у 1995-1998 роках склали 899,3 млн. грн., 1999-2007 роках – понад 1500 млн. грн., а у 2008 році – близько 6 млрд. грн., 2009 р. – 6 млрд. грн., середньорічний збиток від паводків у 2010 р. склав 170 млн. грн. (Web-Portal of Ukraine Government і РБК-Україна).

Не дивлячись на ряд існуючих систем контролю і прогнозування рівня паводкових вод (“ТИСА”, “Прикарпаття”, комп’ютерною системою з автономними давачами, системою “АКСОН”, акустичною системою контролю рівня води річок, інтелектуальною системою прийняття рішень при прогнозуванні повеней та комплексною системою загальнонаціонального протиповеневого моніторингу (вказані системи розроблені в Україні), а також автоматизованою системою управління повенями (Нігерія), Flood Observatory System, the National Center for Atmospheric Research Front Range Flash Flood Prediction System (Малазія)), вони не знайшли широкого практичного застосування через низьку ефективність, значну вартість врахування лише одного-двох кліматичних факторів [1].

Для реалізації і розробки системи контролю рівня паводкових вод використовуватимуться наступні технічні засоби: опадомір; давачі вологості повітря та ґрунту; давач атмосферного тиску, GSM – глобальна система мобільного зв'язку (Global System for Mobile Communications); Ethernet – базова технологія локальних обчислювальних (комп’ютерних) мереж з комутацією пакетів; контролер S7-300 фірми Siemens [2]. На основі запропонованих апаратних засобів відбудуватиметься створення нижнього рівня системи у програмному середовищі STEP 7, де визначається тип та директорія збереження файлів проекту для розроблювальної системи рівня паводкових вод.

Перевагами запропонованої автоматизованої системи контролю рівня паводкових вод у порівнянні з існуючими є:

- малогабаритність та мобільність;
- врахування трьох кліматичних факторів та водно-фізичних властивостей ґрунту;
- здійснення контролю за рівнем води річок та кліматичними факторами у режимі реального часу постійно, а не тільки у період паводків;
- зручний інтерфейс у користуванні;
- економічна вигідність.

### **Список літературних джерел**

1. Заміховський Л. М. Аналіз методів і систем контролю та прогнозування рівня паводкових вод / Л. М. Заміховський, О. І. Клапоушак // Нафтогазова енергетика : Всеукраїнський науково-технічний журнал. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ. – 2011. – Вип. 2(15) – С. 99-105. ISSN 1993-9868

2. Instruction Manual April 2006 [Електронний ресурс]: MultiRanger 100/200 - Siemens. Офіційний сайт. – Режим доступу: [http://cache.automation.siemens.com/dnl/Tg/Tg0MTMwNQAA\\_37186213\\_HB/7ML19981FB05.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnl/Tg/Tg0MTMwNQAA_37186213_HB/7ML19981FB05.pdf)

О. Ю. Мірзоєва, аспірант

## АНАЛІЗ ПРИЧИН ТА ФАКТОРІВ, ЩО ПРИЗВОДЯТЬ ДО ВИНИКНЕННЯ ДЕФЕКТІВ У КАМЕРІ ЗГОРЯННЯ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ

Ключові слова: камера згорання, дефект, газоперекачувальний агрегат, технічний стан

Україна має потужну та розвинену газотранспортну систему (ГТС), основу якої складають газоперекачувальні агрегати (ГПА). Від технічного стану ГПА, зокрема від камери згорання залежить як надійність роботи ГПА, так і ефективність експлуатації всієї ГТС.

У зв'язку з цим актуальним питанням є розробка методів і засобів діагностування камери згорання ГПА. Одним із першочергових завдань при цьому є аналіз причин і факторів, що призводять до виникнення дефектів і відмов камери згорання (КЗ). Вирішення вказаного питання і присвячена дана робота.

Камера згорання – один з основних вузлів газотурбінних двигунів (ГТД) ГПА. Її призначення – спалювання палива та отримання високонагрітого робочого тіла. Надійність пуску і роботи камери згорання, її економічність і довговічність визначають аналогічні показники всього двигуна. Якість роботи камери згорання оцінюється за показниками ефективності, надійності і екологічної досконалості.

Відомо, що до основних причин, через які виникають дефекти в камері згорання ГПА відносяться [1]:

- висока температура основних елементів КЗ;
- істотна нерівномірність нагрівання основних елементів КЗ;
- корозійна дія газового середовища;
- вібрації корпусів двигуна, що передаються на елементи КЗ;
- вібраційний режим горіння

В результаті проведення численних досліджень було встановлено, що до основних несправностей КЗ, що зустрічаються в експлуатації можна віднести наступні [2]:

- тріщини і прогар жарових труб термічного походження внаслідок нагароутворення на стінах труб і робочих форсунок, що пов'язано з неповним згоранням палива, що характеризується  $N_{кс}$ , і викликає значну нерівномірність температурного поля перед турбіною високого тиску;
- забруднення фільтрів і закоксованість пальників, позначається на зменшенні витрат паливного газу та зміну температури робочого тіла після камери згорання;

Як показує практика, руйнування в КЗ можуть стати причиною вторинних руйнувань лопатей і дисків турбіни.

Працездатність камери згорання істотно впливає на надійність ГПА, так як пошкодження її елементів призводить до вимушених зупинок, а незадовільна організація процесу горіння знижує довговічність лопатей турбіни. Основні елементи камери згорання (жарова труба, екран, змішувач, фронтний пристрій і полум'яперекидний патрубок) працюють при високих температурах і схильні до впливу пульсацій потоку продуктів згорання. В табл.1 вказані дефекти КЗ і методи їх діагностування [3].

Таблиця 1 – діагностика камери згорання [4]:

Несправність	Діагностичні параметри	Методи діагностування
Термічні втомні тріщини, деформація, викривлення, прогар, розтріскування	Довжина і місце розташування тріщин, температура камери згорання (локальна)	Візуально-оптичний, рентгенографія, пірометричний
Нагароутворення – збудження резонансних коливань лопатей турбіни	Параметри шуму, вібрації, локальна температура, місце розташування нагару	Віброакустичний, пірометричний, візуально-оптичний
Засмічення форсунок	Тиск палива перед КС, розпорошення і витрата палива, температура продуктів згорання, температурне поле перед турбіною	Інструментальна оцінка прямим вимірюванням, газодинамічний, пірометричний
Пульсаційне горіння	Тиск палива перед КС, в КС, шум і вібрація	Інструментальна оцінка прямим вимірюванням, віброакустичний

Методи контролю технічного стану камери згорання можна уявно поділити на дві групи. До першої відносяться методи, засновані на чисельному моделюванні газодинамічних та теплових

процесів, що дозволяють отримати значення температури практично в кожній точці проточної частини з урахуванням турбулентного характеру течії, двофазності потоку, тепловиділення при горінні, геометричних особливостей проточної частини та фізико – хімічних параметрів середовища. Іншу групу становлять наступні методи:

- вібраційного контролю, які здійснюються за допомогою аналізу спектру вібрацій, виміряних на корпусі камери згоряння ГТУ. Недоліком даного методу є те, що вібрації можуть бути і від інших елементів газотурбінного агрегату, відповідно він є не зовсім точним;

- контролі режиму горіння в камері згоряння, що полягає у вимірюванні сигналів ЕРС індукції, яка виникає при взаємодії іонів високотемпературного газового потоку з чутливим елементом магнітного зонда, розміщеного на поверхні корпусу ГТУ в зоні, прилеглої до камери згоряння. Недоліком даного методу є важкодоступність та неточність результатів вимірювання;

- контролі технічного стану камери згоряння за допомогою електростатичної антени, яка реєструє електростатичне поле, що генерується за допомогою заряджених частинок іонів і електронів високотемпературного газового потоку. Діагностування і прогнозування дефектів камери згоряння здійснюють за допомогою проведення статистичного аналізу зареєстрованих пульсацій електростатичного випромінювання іонів і електронів;

- вимірюванні параметрів вихлопних газів на виході вихлопного колектора (хімічний і процентний склад) за допомогою газоаналізатора та подальшій обробці результатів вимірювань, використовуючи методи математичної статистики [5].

Проаналізовані недоліки розглянутих методів контролю технічного стану камери згоряння ГПА щодо їх оперативності, ефективності та надійності. Останнє вимагає вдосконалення існуючих та розробки нових методів діагностування технічного стану камери згоряння ГТУ.

#### Список літературних джерел

1. Разработка газотурбинного компрессора ГТК-10-4 цеха 4 Сосногорского ЛПУМГ с усовершенствованием камеры сгорания [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://c-stud.ru/work\\_html/look\\_full.html?id=171958&razdel=290](https://c-stud.ru/work_html/look_full.html?id=171958&razdel=290).

2. Семенов А.С. Классификация и анализ эксплуатационных неисправностей газоперекачивающих агрегатов // Сб. науч. тр. «Нефть и газ. Новые технологии в системах транспорта». - Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. - с. 65-69.

3. Щуровский В.А., Зайцев Ю.А. Газотурбинные газоперекачивающие агрегаты. - М.: Недра, 1999. - 191 с.

4. Б. С. Ревзин Газоперекачивающие агрегаты с газотурбинным приводом: Учебное пособие 2-е изд., Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2002. 269 с.

5. Газоперекачивающий агрегат ГПА-Ц-16 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.turbini.ru/542-gazoperekachivayushhij-agregat-gpa-c-16.html>.



**А.Б. Романюк, аспірант**

## **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ШТАНГОВИХ ГЛИБИННОНАСОСНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ВИДОБУТКУ НАФТИ**

Ключові слова: метод діагностування, технічний стан, штангова глибинонасосна установка, дефект, режим

При експлуатації малодобітних свердловин широкого використання набули штангові глибинонасосні установки (ШГНУ). Незважаючи на просту конструкцію ШГНУ, технічно нескладний монтаж, можливість адаптації до постійно змінюваних умов припливу нафти з пласта і відносно високий ККД мають багато чисельні відмови, досить швидкий (3-4 роки) знос плунжерній пари, насосно-компресорних труб і штанг внаслідок тертя, а також трудомісткість операцій по заміні і ремонту глибинних насосів, що вимагає розробки методів їх діагностування, використання яких дозволить підвищити ефективність експлуатації ШГНУ з забезпеченням надійності роботи її основних вузлів і механізмів.

В роботі розглядаються відомі методи діагностування ШГНУ. Так, традиційним методом діагностування стану глибинно-насосного обладнання залишається динамометрування ШГНУ - побудова гирлової (наземної) динамограми - графіка залежності навантаження на траверсі ШГНУ від положення полірованого штока [1]. Даний спосіб дозволяє, використовуючи методи діагностування, відстежувати працездатність ШГНУ в реальному масштабі часу, а також оцінювати поточний фактичний дебіт свердловини. Серед відомих на даний момент систем контролю стану ШГНУ, які реалізують вказаний метод, найбільш перспективні стаціонарні інформаційно-вимірювальні системи, що дозволяють здійснювати безперервний контроль за роботою цілих комплексів насосних установок. Вся інформація, яка надходить зі свердловин в диспетчерський пункт, оперативно обробляється та аналізується з використанням програмного забезпечення верхнього рівня. Використовуються методи розпізнавання образів [1], які в поєднанні з гармонійним аналізом сигналів дозволяють ідентифікувати поточний напружено-деформований стану ділянки штанги ШГНУ і прогнозувати його залишковий ресурс до настання граничного напруженого стану металу. Не зупиняючись на розгляді методів діагностування ШГНУ, які детально описані в [1] відмітимо, що в [2] розроблено методи діагностування для ШГНУ, які працюють в похило нахилених і викривлених свердловинах. Показано, що використання традиційного динамометричного методу в таких свердловинах не завжди дає вірний результат.

В [3] розглянута експертна система діагностування дефектів ШГНУ, що реалізована в програмному середовищі JAVA, в якому дані були представлені за допомогою Drools (процесор правил з відкритим кодом, написаний на Java і виконує правила відповідно до алгоритму Рете).

Метод безконтрольної класифікації на основі алгоритму кластеризації, який може бути використаний для діагностування стану вузлів ШГНУ. Він є звичайним методом безконтрольного навчання, який дозволяє автоматично класифікувати дані за їх характеристиками. Алгоритм спектральної кластеризації (СК) - це новий тип кластерного алгоритму на основі теорії графів. Його можна застосувати до наборів даних з будь-якою формою розподілу і не залежить від розміру даних; глобальне оптимальне рішення можна отримати, використовуючи стандартний метод лінійної алгебри, за критерієм кластеризації в неперервному домені через власне розкладання матриці подібності. Цей метод використовується для вилучення кривих власних векторів експериментальних даних (карток динамометра) для структурування набору даних (різні типи дефектів динамометричних карток з різними даними розподілу). Потім набір даних може бути використаний для перевірки ефективності запропонованого алгоритму.

З розглянутих методів діагностування ШГНУ та їх вузлів видно, що сьогодні не існує єдиного загальноприйнятого ефективного методу на базі якого можна розробити сучасну систему діагностування з використанням новітніх апаратно-програмних засобів. Вказане вимагає розробки такого методу діагностування ШГНУ. для малодобітних свердловин частково вже впроваджені на виробництві, інші потребують довготривалої апробації та вдосконалення.

Список літературних джерел

1.Заміховський Л.М. Діагностика технічного стану штангових глибинно-насосних установок [Текст]: моно графія/ Л.М. Заміховський, В.А. Ровінський, О.В. Євчук - Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2006. – 308 с.

**Л. М. Заміховський, д.т.н., проф.; В.В. Павлик, начальник служби КВПіА  
Богородчанського ЛВУМГ**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГПА ГТК 25і МЕТОДАМИ ДИСКРИМІНАНТНОГО АНАЛІЗУ**

Ключові слова: віброакустична діагностика, газоперекачувальний агрегат, дискримінантний аналіз, діагностична ознака

Сьогодні практично всі газоперекачувальні агрегати типу ГТК 25і «Нуово-Пінйоне», які встановлені на магістральному газопроводі Уренгой-Помари-Ужгород, вичерпали свій ресурс і продовжують експлуатуватися. У зв'язку з цим актуальною задачею є розробка методів і засобів діагностування їх технічного стану, впровадження яких дозволить попередити виникнення аварійних ситуацій. В роботах [1,2 і ін] розглядаються методи і засоби віброакустичної і параметричної діагностики технічного стану ГПА ГТК 25і «Нуово-Пінйоне» на базі новітніх інформаційних технологій. Дана робота є продовженням вказаних робіт і направлена на виявлення нових діагностичних ознак технічного стану ГПА ГТК 25і при використанні вібраційної і акустичної діагностичної інформації про їх роботу.

Розглядається методика використання дискримінантного аналізу для виявлення діагностичних ознак технічного стану ГПА ГТК 25і при використанні вібраційної і акустичної діагностичної інформації (рівні шуму та вібрації виміряні через кожних 200 мс – представляються як часові ряди) про його роботу, отриманої до ремонту ГПА №3, який експлуатувався на компресорній станції Богородчанського ЛВУМГ, після проведення його ремонту та після тривалого напрацювання. Процедура визначення діагностичної ознаки ГПА за середньоквадратичними відхиленнями його характеристик (шум, вібрація) полягала в наступному:

- з кожного часового ряду випадковим вибором відбирається частини рядів довжиною 300 вимірювань (або 60 с). Кожна з вибірок містить 1000 часових рядів;
- за кожним відібраним рядом оцінюється середньоквадратичне відхилення;
- з трьох вибірок середньоквадратичних відхилень будується категоризована об'єднана вибірка. Категорії ідентифікуються з допомогою таких значень: “b” – до ремонту, “a” – після ремонту, “w” – після напрацювання;

Випадковим вибором відбирається 1000 вибірових значень для процедури побудови дискримінантних функцій (лінійний дискримінантний аналіз). Решта вибірових значень (2000 спостережень) використовується для перевірки одержаної процедури класифікації.

В результаті проведення лінійного дискримінантного аналізу знайдено лінійні дискримінантні функції для кожної групи спостережень (до ремонту (b), після ремонту (a) та після напрацювання (w)).

$$f_a = 0,386 * X_1 + 0,064 * X_2 - 894,820;$$

$$f_b = 0,1162 * X_1 + 0,0274 * X_2 - 97,3223;$$

$$f_w = 0,0481 * X_1 + 0,0039 * X_2 - 12,9307,$$

де  $X_1$  - значення середньоквадратичного відхилення характеристики (шум),

$X_2$  — значення середньоквадратичного відхилення характеристики (вібрація).

При цьому вибрано рівні (0,33333) апіорні ймовірності належності спостережень до цих груп.

Згідно розробленої таким чином процедури дане спостереження відноситься до тієї групи або технічного стану ГПА (a, b чи w), для якої значення відповідної дискримінантної функції ( $f_a$ ,  $f_b$  чи  $f_w$ ) найбільше.

Для перевірки якості процедури класифікації застосовуємо розроблену процедуру класифікації до спостережень тестової вибірки, які не брали участі в розробці процедури. Об'єм такої вибірки становить 2000 значень. Результат представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Group	ClassificationMatrix (dat_train_test.sta)			
	Percent Correct	a	b	w
a	100,0000	667	0	0
b	100,0000	0	672	0
w	100,0000	0	0	661
Total	100,0000	667	672	661

Рядки таблиці (a, b, w) відповідають реальним технічним станам ГПА, в яких були відібрані спостереження. Столпчики — прогнозованим технічним станам. Як видно з таблиці в 100% випадків прогноз збігся з реальністю.

Канонічний аналіз дозволяє знайти площину (набір з двох характеристик), проєкції на яку даних трьох груп найкраще розрізняються. Ці характеристики (Root 1 та Root 2) утворюються з даних ( $X_1$  та  $X_2$ ) з допомогою коефіцієнтів, тобто

$$\text{Root 1} = -0,0097 * X_1 - 0,0014 * X_2 + 20,8493;$$

$$\text{Root 2} = 0,005214 * X_1 - 0,003754 * X_2 + 0,226723.$$

Всистемі координат Root1- Root 2 дані спостереження виглядають наступним чином (рис. 1).

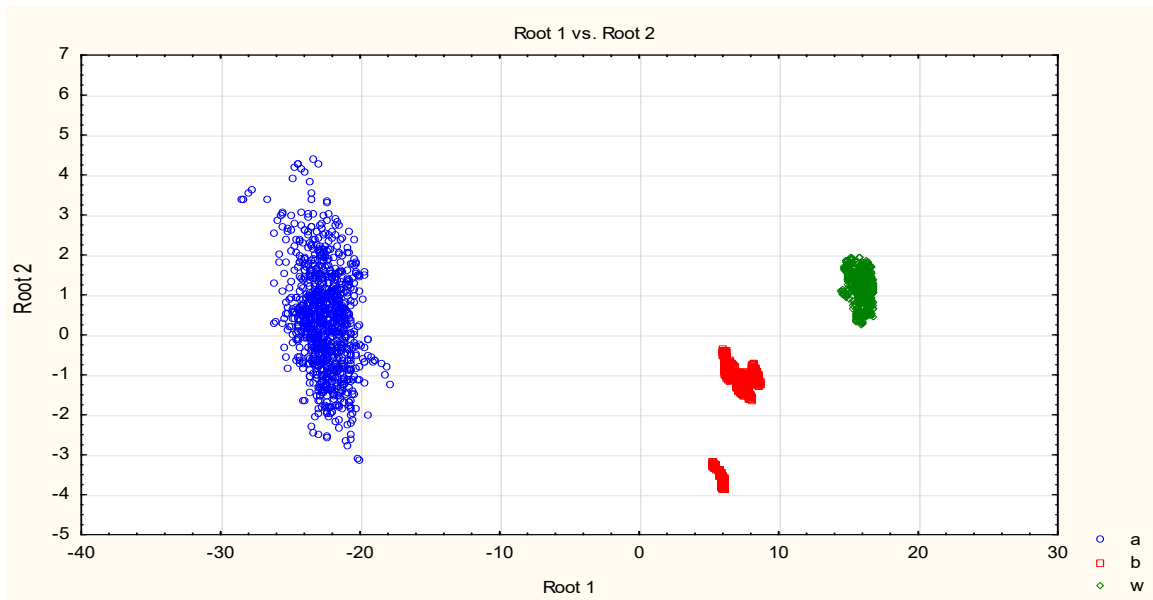


Рисунок 1 – Графічне представлення множини технічних станів ГПА ГТК 25i

Як видно з рис.1 дані групи спостережень (технічних станів ГПА) досить добре розрізняються. Крім того, таке графічне представлення дає можливість спрогнозувати зміну технічного стану ГПА на подальший період його експлуатації і визначити час проведення ремонтних робіт.

Список літературних джерел:

1. Замиховский Л.М. Исследование диагностических признаков технического состояния газоперекачивающих агрегатов ГТК -25i фирмы Нуово-Пиньоне [Текст] / Леонид Замиховский, Владимир Павлык // Молодой ученый. – 2014. – №15(74). – С. 75-79.
2. Павлык В.В. Дослідження вібраційного стану осевого компресора ГПА ГТК-25I фірми «НУОВО ПІНЬЙОНЕ» [Текст] / Володимир Павлык // Методи та прилади контролю якості. – 2014. -№1(32). - С.28-38

**О. Ярмолюк О., аспірант, Н.Є. Гоц д.т.н., проф.**

## **КВАЛІМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ БАНКІВСЬКИХ ПОСЛУГ ЗАЦІКАВЛЕНИМИ СУБ'ЄКТАМИ**

Ключові слова: послуга, якість послуг, метод оцінювання якості послуг, показники якості банківських послуг

Поліпшення якості банківських послуг потребує розвитку методів оцінювання їх якості, цілями яких є

- визначення конкурентоспроможності банку або його відділень;
- визначення резервів для покращення обслуговування;
- впровадження передових практик;
- оцінювання якості надання послуг з точки зору споживача;
- визначення рейтингу серед декількох банків або відділень банків;
- попереднє оцінювання для залучення кредитів, інвестицій та ін.

Для оцінювання якості продукції доцільним є застосування методів кількісного оцінювання її властивостей, а саме методів кваліметрії, завдання якої є обґрунтування вибору показників якості, методів їх оцінювання та розроблення методів визначення оптимальних значень цих показників.

Аналіз результатів вимірювання якості послуг і задоволеності клієнтів дозволяє концентрувати увагу на конкретних проблемах, розвивати методи покращення якості та в результаті підвищувати рівень обслуговування.

Тому нашою метою є розроблення методу оцінювання якості банківських послуг, який максимально враховуватиме вплив різних чинників на якість наданих банком послуг та базуватиметься на наукових засадах кваліметрії.

Оцінювання якості банківських послуг з точки зору різних зацікавлених суб'єктів, які має різну мету оцінювання, а саме:

- для клієнтів банку: отримання послуги з бажаними характеристиками, прийнятною якістю обслуговування та допустимим для них ризиком;
- для акціонерів та інвесторів банку: оцінювання стійкості і темпів зростання ринкової вартості бізнесу;
- для менеджменту банку: оцінювання довгострокової конкурентоспроможності та і стабільності розвитку банку;
- для органів державного нагляду: контроль дотримування інтересів держави та суспільства.

Якість банківських послуг залежить від багатьох чинників, сукупна дія яких по-різному впливає на наслідок. Складне поєднання таких впливних факторів приводить до різних результатів оцінювання якості. Тому існує необхідність дослідження залежності однієї залежної

змінної  $Y$  від декількох впливаючих на результат змінних  $X_1, \dots, X_n$ . Це завдання розв'язується на основі множинного регресійного аналізу, який дозволяє дослідити вплив різних факторів на результат. На основі побудови та аналізування багатопараметричної лінійної регресійної моделі, яка дозволяє визначити відокремлений та спільний вплив різних факторів на результативну ознаку та провести кількісне оцінювання цього впливу шляхом використання відповідних критеріїв. Регресійний аналіз проводиться шляхом побудови рівняння регресії і визначення внеску кожної незалежної змінної у варіацію досліджуваної залежної змінної величини, його основним завданням є визначення впливу факторів на результативний показник.

Формування системи багатфакторних лінійних регресійних моделей, які включають обрані показники якості банківських послуг в залежності від суб'єктів оцінювання проводиться таким чином. З врахуванням того, що якість банківських послуг може бути оціненою з точки зору різних суб'єктів, які мають різну мету оцінювання, а саме клієнтів банку, акціонерів банку, керівництва банку та органів державної влади, пропонуємо метод оцінювання якості математично подати у вигляді системи рівнянь лінійної багатопараметричної регресії, яка показує вплив окремих чинників на результуючу якість послуг. Кожне з рівнянь системи показує залежність якості

банкiвських послуг вiд ряду показникiв якостi з врахуванням iх вагомостi з точки зору кожного з вищерозглянутих суб'єктiв оцiнювання якостi банкiвських послуг.

$$\begin{cases} Y_1 = b_{10} + b_{11}x_{11} + b_{12}x_{12} + \dots + b_{1n}x_{1n} \\ Y_2 = b_{20} + b_{21}x_{21} + b_{22}x_{22} + \dots + b_{2n}x_{2n} \\ Y_3 = b_{30} + b_{31}x_{31} + b_{32}x_{32} + \dots + b_{3n}x_{3n} \\ Y_4 = b_{40} + b_{41}x_{41} + b_{42}x_{42} + \dots + b_{4n}x_{4n} \end{cases}, \quad (1)$$

де  $x_{mn}$  - значення показникiв якостi;

$b_{mn}$  - значення показникiв вагомостi;

$m$  - кiлькiсть суб'єктiв оцiнювання якостi

$n$  - кiлькiсть показникiв якостi;

$Y_1$  - результат оцiнювання якостi клiєнтами банку;

$Y_2$  - результат оцiнювання якостi акцiонерами банку;

$Y_3$  - результат оцiнювання якостi керiвництвом банку;

$Y_4$  - результат оцiнювання якостi органами державної влади.

Етапи запропонованого нами методу оцiнювання якостi банкiвських послуг на основi побудови системи рiвнянь багатофакторної регресiйної моделi, яка формується на основi iнформацiї всiх заiцiкавлених суб'єктiв оцiнювання, а саме клiєнтiв банку, акцiонерiв банку, керiвництва банку та органiв державної влади:

6. Провести вибiр факторiв, а саме показникiв якостi, якi впливають на якiсть банкiвських послуг в залежностi вiд вищерозглянутих суб'єктiв оцiнювання.

7. Провести кореляцiйний аналiз обраних показникiв якостi банкiвських послуг для оцiнювання щiльностi кореляцiйного зв'язку мiж ними.

3. Провести вибiр методу побудови системи рiвнянь регресiйних моделей та оцiнити невідомi параметри регресiйних моделей.

4. Перевiрити розробленi моделi на адекватнiсть.

5. Перевiрити коефiцiєнти розроблених моделей на значимiсть.

6. Розрахувати та побудувати iнтервали довiри.

Провести аналізування отриманих результатiв та сформуванi рекомендацiї по покращенню якостi банкiвських послуг.

Лiтература:

1. Латыпова Л.В. Современныметодыоценкисистемыменеджментакачества / Л.В. Латыпова // Экономика и предпринимательство. – 2015.-№6 (ч.3). – с.-845.

2. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладнойрегрессионныйанализ. Множественная регрессия (AppliedRegressionAnalysis). / Н. Дрейпер, Г. Смит. - М. : «Диалектика», 2007. — С. 912.

**В. В. Присяжнюк ст. викл.; В. С. Коваль, студентка**

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИТРАТ ТЕПЛА ДЛЯ ОБІГРІВУ ПРИМІЩЕНЬ**

Ключові слова: термостат, термоголовка, термостатичного клапан, витрати тепла.

У весняно-осінній період опалювального сезону за температури зовнішнього повітря приблизно від  $-3, -1^{\circ}\text{C}$  до  $+8^{\circ}\text{C}$ , теплопостачальні підприємства не мають технічної можливості регулювати (зменшувати) подачу тепла. Для більшості міст України цей період становить 50–60% загальної тривалості опалювального сезону. Саме тому будинки перегріваються, і ми відкриваємо квартирки, викидаючи дорогоцінне тепло та гроші на вітер. Є ще одна сторона цієї проблеми, коли на вулиці температура досягає  $-10^{\circ}\text{C}$  та більше, квартири стають доволі холодні і тоді ми вмикаємо додаткові електроприлади щоб встановити температуру комфортну для проживання, в результаті ми маємо шалені рахунки за теплоенергію [1].

Приблизно 85% будинків, старого зразка в яких є один вертикальний регулятор температури, щодо новобудов з горизонтальною розводкою трубопроводу в квартирі, мешканці мають можливість встановити квартирний лічильник обліку тепла.

Одним з найменш витратних і найбільш ефективних методів регулювання тепла в квартирі є встановлення радіаторних терморегуляторів на кожен опалювальний прилад, що є у приміщеннях.

Радіаторні терморегулятори (термостати) – це пристрої, що дозволяють підтримувати температуру, необхідну для конкретного приміщення. Варто зазначити, що терморегулятор завжди складається з двох елементів: термостатичного клапана і термоелемента (термоголовки), яка встановлюється на нього. Терморегулятори дають можливість автоматично підтримувати задану температуру повітря в конкретному приміщенні, забезпечуючи комфортні умови перебування в ньому, а також досягати значної економії теплової енергії [2].

На ринку України є великий вибір радіаторних терморегуляторів різних форм і розмірів, призначених для різних типів і місць установки радіаторів. Випускаються модифікації термоголовок з вбудованим або виносним датчиком температури повітря.

Тому з метою економії, я пропоную встановлення індивідуального датчика температури для кожного приміщення, який передбачає зниження температури до  $+16^{\circ}\text{C}$ , коли у приміщенні нікого немає. Терморегулятор буде реагувати на зовнішні теплові притоки. Якщо засвітило сонце в кімнату, терморегулятор знижує подачу тепла. Якщо до вас прийшли гості або в приміщенні працюють побутові прилади, які подають безкоштовне тепло в кімнату, терморегулятор зреагує і знову знизить подачу тепла.

Переваги встановлення радіаторних терморегуляторів у квартирі:

- Можливість встановлення індивідуальної температури в кожній окремій кімнаті.
- Використання теплопритоків від побутових приладів що розташовані в кімнаті.
- Використання тепла від людей що знаходяться у приміщенні.
- Економія витрат до 20% [3].

Таким чином, в залежності від реальної витрати тепла на 1м.кв., можна оптимізувати визначену вартість за спожите тепло кожному мешканцю.

Список літературних джерел:

1. <http://jkg-portal.com.ua/ua>
2. Иванов Д.В., Монастырев П.В., Монастырева М.В. Основные пути экономии энергии в жилых зданиях // Труды в области архитектуры и строительства-Вып. 1.-Тамбов: ТГТУ, 2000-С.71-74.

П.І.Кулаков, д.т.н., проф.; У.С.Мельничук, магістрант; А.П.Кулакова, студент

## ДИСКРЕТНИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ РІВНЯ МОЛОКА У МОЛОКОПРИЙМАЛЬНІЙ КАМЕРІ

Ключові слова: вимірювальний перетворювач рівня, молоковіддача, параметри молоковіддачі, інтенсивність молочного потоку.

На стійловій доїльній установці основним завданням блоку забезпечення процесу доїння є забезпечення управління процесом доїння, яке вирішується на основі вимірювання миттєвої інтенсивності молоковіддачі, її високоточне вимірювання для цього не потрібне. Виходячи з цього, виникає необхідність розробки вимірювальних перетворювачів рівня молока, пристосованих для стійлової доїльної установки, при використанні яких можливе забезпечення управління процесом доїння, розглянемо принцип дії розробленого перетворювача [1-3].

Молоко з колектора доїльного апарата, під дією вакууму, всмоктується через піновідділювач до молокоприймальної камери. У молокоприймальній камері, у вертикальному напрямку, один за одним розташовано  $N_{LM}$  магнітоактивних елементів (МАЕ), які являють собою елементи Хола або магніторезистори. В процесі доїння, рівень молока в камері збільшується, в результаті, поплавок з магнітом змінює своє вертикальне положення у відповідності з рівнем молока. Після досягнення певного порогового рівня, через зливний клапан накопичене в камері молоко скидається у молокопровід. Пороговий рівень, при якому здійснюється скидання молока, встановлюється в залежності від інтенсивності молоковіддачі. Коли певний МАЕ знаходиться в безпосередній близькості від магніту з поплавком, змінюються його параметри. Вихідні параметри усіх МАЕ за допомогою відповідних перетворювачів трансформуються у логічні рівні. Якщо  $i$  - й МАЕ активований, то на виході  $n_i$   $i$  - го перетворювача з'являється рівень логічної одиниці, в протилежному випадку – рівень логічного нуля. Таким чином, логічними рівнями вихідних сигналів перетворювачів  $n_1 - n_{N_{LM}}$  утворюється код  $N_{HM}$ , який має  $N_{LM}$  розрядів, значення якого визначає вертикальне положення поплавка з магнітом, нижня границя якого збігається з рівнем молока у молокоприймальній камері.

Даний перетворювач з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ можна розглядати як аналого-цифровий перетворювач рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарата. Основною перевагою розглянутого перетворювача, у порівнянні з фотоелектричними є те, що якість промивки доїльного обладнання практично не впливає на його характеристики. За допомогою розглянутого перетворювача рівня молока з дискретним вихідним сигналом на основі МАЕ, є можливість визначити разовий удій тварини, середню інтенсивність молоковіддачі, інтенсивність молоковіддачі на протязі перших тридцяти секунд після початку доїння, інтенсивність молоковіддачі на протязі часового інтервалу від тридцяти до шістдесяти секунд після початку доїння, інтенсивність молоковіддачі на протязі часового інтервалу від шістдесяти до дев'яноста секунд після початку доїння, миттєву інтенсивність молоковіддачі, час припуску молока.

### Список літературних джерел

1. Кулаков, П. І. Елементи теорії вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння / П. І. Кулаков. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 220 с.
2. Кучерук, В. Ю. Засіб вимірювання рівню молока для переносного доїльного апарату стійлової установки / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Восточно-европейский журнал передовых технологий. - 2014. - № 3/9 (69). - с. 16 - 22.
3. Пристрій для вимірювання кількості молока та інтенсивності молочного потоку з функцією виявлення води в молоці : Патент на корисну модель 94015 Україна: G01M 1/22 / Кучерук В. Ю., Паламарчук Є. А., Кулаков П. І., Гнесь Т. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет ; заявл. 12.05.2014 ; опубл. 27.10.2014, Бюл. № 20. - 3 с.

## ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА TIA PORTAL ДЛЯ ОБРОБКИ ВІБРОДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА БАЗІ МОДУЛЯ SM 1281 SIEMENS

Ключові слова: вібраційний модуль, програмне середовище, діагностична інформація, вібродавач, технічний стан, газоперекачувальний агрегат

Сьогодні актуальною залишається проблема діагностування технічного стану газоперекачувальних агрегатів і оперативного управління їх роботою на основі отриманої інформації. Поява новітньої розробки концерну Siemens – модуля технологічного моніторингу SM1281 дозволяє наблизитися до вирішення вказаної проблеми. Так, в [1] розглядається процедура параметрування програмних блоків технологічного модуля стосовно вимірювання параметрів вібрації SM1281 для побудови системи діагностування газоперекачувальних агрегатів на базі програмованого логічного контролера Simatic S7-1200 та середовища проектування TIA Portal V13SP1 (Totally Integration Automation) «Siemens».

З використанням блока SM1281 і попередньо здійсненої процедури параметрування його програмних блоків були проведені експериментальні дослідження газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16С на компресорній станції КС-3 «Долина» УМГ «Прикарпаттрансгаз» відповідно до затвердженої програми досліджень. Метою експериментальних досліджень передбачалося визначення вібраційного стану лопатевого апарату ГПА-Ц-16С за результатами проведення експериментів по зміні частоти обертання силової турбіни нагнітача (ТН) та положення лопатей вхідного направляючого апарату, що дозволило би перевірити розроблений алгоритм визначення технічного стану лопатевого апарату ГПА-Ц-16С, який буде покладено в основу запропонованого вібраційного методу їх діагностування. В комплекті з блоком SM1281, який має чотири сенсорних канали VIB для моніторингу сигналу вібрації, використовувалися штатні акселерометри (промисловий стандарт для акселерометрів IEPЕ – Integrated Electronics Piezo-Electric).

В результаті проведених досліджень були отримані записи вібрацій (vRMS, aRMS), які автоматично зберігаються у вигляді трендів в режимі RUN в SM 1281. Мінімальні, максимальні і середні значення записуються для кожної вимірюваної величини або характерного значення. SM 1281 зберігає необроблені дані записаних сигналів вібрації - віброграми у WAV-файли. За допомогою програмного забезпечення SIPLUS CMS X-Tools, можна візуалізувати тренди на персональному комп'ютері і розрахувати спектри із записаних вихідних даних.

В роботі розглядається процедура візуалізація необроблених даних у X-Tools, виконавши яку здійснюють завантаження записаних даних у середовище X-Tools для подальшої обробки (рис.1).

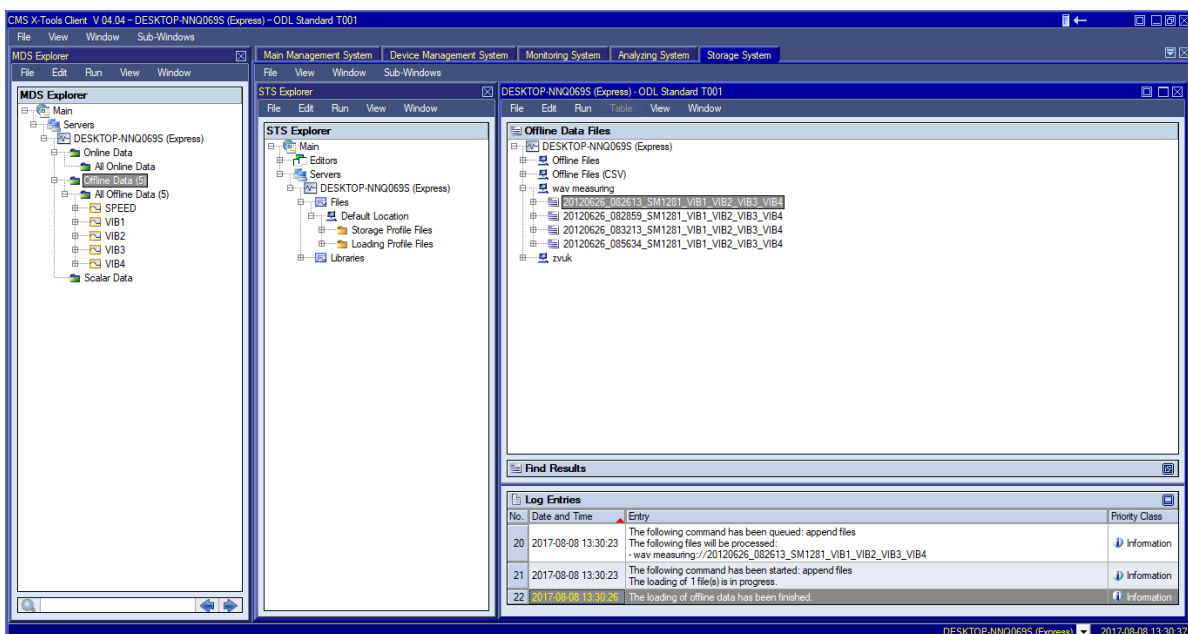


Рис. 1 Вікно завантаження необроблених даних вібрації - віброграми у середовище CMS X-Tools



Відкривши файл з віброграмами, що були записані з використанням модуля SM1281, візуалізують отримані значення. Приклад процесу запису віброграми - віброприскорення поперечних коливань відцентрового напрямного апарату (ВНА) осьового компресора низького тиску (КНТ) (тривалість одного запису - до 90 с) наведено на рис.2.

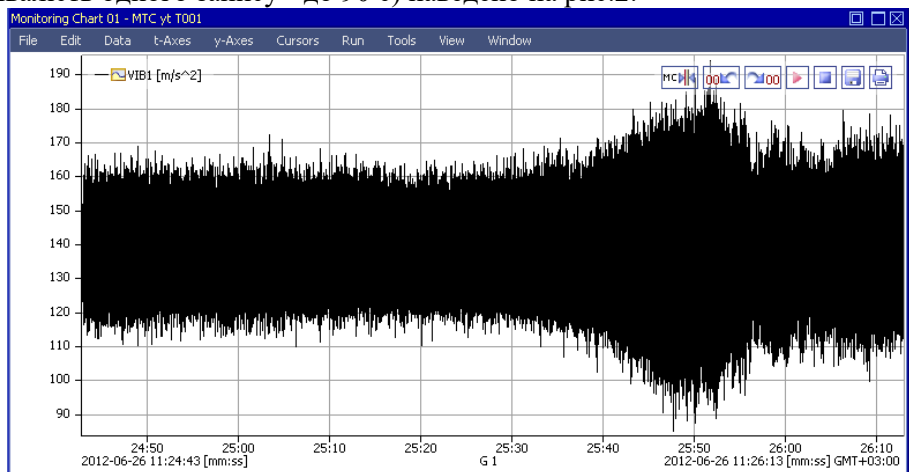


Рис. 2 Віброграма віброприскорення поперечних коливань ВНА КНТ

В роботі описується процедура подальшої роботи із отриманими файлами, зокрема спектрального аналізу (швидке перетворення Фур'є) та дослідження, для прикладу, динаміки зміни амплітуди отриманого спектру на роторних гармоніках через кожні 10с запису вібрації на заданому режимі роботи ГПА-Ц-16С.

На рис.3 наведено спектр записаного сигналу за допомогою швидкого перетворення Фур'є у програмному пакеті CMS X-Tools.

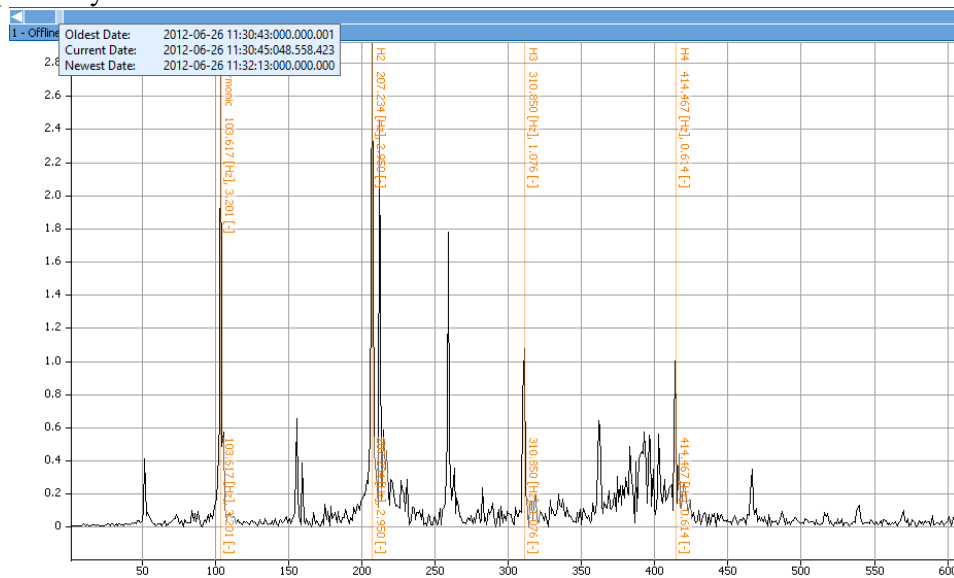


Рис. 3 Спектр вібрації компресора високого тиску ГПА-Ц-16С при  $n = 6200$  об/хв.

Використання вібраційного модуля SM1281 для запису вібраційних сигналів візлів ГПА-Ц-16С та їх аналізу з використанням, наприклад, SIPLUS CMS X-Tools дозволить вибрати раціональні діагностичні ознаки їх технічного стану, що в подальшому дозволить інтегрувати SM1281 з Simatic S7-1200 і програмним середовищем TIA PORTAL в систему управління роботою ГПА та вибирати режими його роботи з врахуванням фактичного технічного стану.

Список літературних джерел:

1.Заміховський Л.М. Параметрування програмних блоків модуля SM1281 для побудови системи діагностування ГПА [Текст] / Л.М. Заміховський, Н.І. Іванюк // Summer InFoCom Advanced Solutions 2017: IV-а Міжнародна науково-практична конференція, Київ, 1-2 червня 2017 р. С 30-31.

**Л. М. Заміховський, д.т.н., проф.; О. М. Лисканич, пров. інженер**

## **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ДАВАЧ – УНІВЕРСАЛЬНИЙ ІНДИКАТОР ВТОМИ ЕЛЕМЕНТІВ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ**

Ключові слова: індикатор, бурильна колона, втома, залишковий ресурс.

Проблема втоми бурильної колони має надзвичайно велике значення оскільки переважна більшість пошкоджень елементів колони пов'язані з виникненням і розвитком втомних тріщин. Опір втоми елементів бурильної колони залежить від значного числа чинників, основними з яких є особливості марки металу, технології виготовлення і конструкції елементів колони, режим їх навантаження, температура і корозійне середовище, що контактує з бурильною колоною. Визначення розрахунковим методом границі витривалості або ресурсу для реальних конструкцій бурильної колони під дією багатьох з перелічених чинників є достатньо складною задачею. Тому актуальною є задача розробки методів контролю накопичення втомних пошкоджень елементів бурильної колони безпосередньо в процесі експлуатації, що дозволяє спрогнозувати їх залишковий ресурс [1].

Для встановлення моменту часу при досягненні якого елемент колони необхідно вилучати з експлуатації застосовуються індикатори разом з іншими засобами неруйнівного контролю призначені для безпосередньої оцінки і контролю їх залишкового ресурсу колони. Насамперед розрізняють диференціальні індикатори і інтегральні [2]. До першого типу належить пристрій основу яких складають давачі, мікропроцесори, комп'ютери. Вони фіксують в цифровій формі історію навантаження елементів бурильної колони, обробляють інформацію і за спеціальними програмами оцінюють навантаження, за якими контролюють залишковий ресурс. Однак основним недоліком вказаного типу індикаторів є відсутність можливості оцінки процесу накопичення пошкоджень в елементах колони, у зв'язку з чим розрахунки на довговічність елементів колони є досить наближеними.

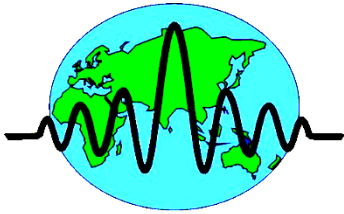
Інтегральні індикатори, що встановлюються в елементах колони і сприймають ті ж самі зовнішні впливи, що й досліджений об'єкт, базуються на використанні покладених в їх основу різноманітних механічних, фізико-механічних і хіміко-механічних явищ, що супроводжують процес накопичення пошкодження. Перевага інтегральних індикаторів в порівнянні з диференціальними полягає в тому, що вони є набагато простіші в експлуатації і мають можливість контролювати навантаження в супроводжувальних елементах колони з врахуванням процесу накопичення втомних пошкоджень в них [3].

В роботі розглядається нова конструкція інтегрального давача – інтелектуального давача втомних пошкоджень елементів бурильної колони [4], в якій використовуються тензоперетворювачі і мікроконтролерний блок, що призначений для вимірювання і запису отриманих даних. Він містить мікроконтролер STM8S003FP3 призначений для керування потоками даних, АЦП, електрично перепрограмовувану пам'ять даних, годинник реального часу та блок живлення. Наводиться опис розробленого програмного забезпечення інтегрального давача втомних пошкоджень та методика визначення з його використанням рівня навантаження елементів бурильної колони в свердловині під час експлуатації і залишкового їх ресурсу.

Приводяться результати експериментальних досліджень розробленого інтелектуального давача, які підтверджують ефективність його використання для визначення залишкового ресурсу елементів бурильної колони в процесі експлуатації.

### **Список літературних джерел**

1. Неруйнівний контроль труб нафтового асортименту: [навч. посіб.] / О.М. Карпаш, П.Я. Криничний, Є.І. Крижанівський та ін. – Івано-Франківськ.: Факел, 2001. – 380 с.
2. Джус А.П. Індикатор контролю технічного стану елементів бурильної колони / А. П. Джус, О. М. Лисканич // Восточно-Европейский журнал передових технологий. – 2012. - №4/7(58) – С. 38-42.
3. Пат. 111563 України, МПК<sup>51</sup>G01B7/16. Різьбове з'єднання бурильних труб з індикатором контролю технічного стану [Текст] / Заміховський Л.М., Лисканич О.М., Джус А.П., Гриджук Я.С., Лисканич М.В. (Україна); заяв. 25.06.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. №9.



## **ТОВ НВФ «ХАРКІВ-ПРИЛАД»**

Адреса: 61050, м. Харків, вул. Киргизька, 94/1  
Телефон: (057) 739-00-50, 739-00-51, факс: 739-00-60  
E-mail: office@pribory.com  
Сайт: <http://www.pribory.com>  
Код ЄДРПОУ: 31557302

Компания ООО НПФ «Харьков-Прибор» на данный момент является производителем пирометров серии «НИМБУС», промышленной мебели под ТМ «А-мера» и источников питания серии Б5-3610.

За прошедшие 18 лет нами налажены тесные партнерские отношения с ведущими мировыми производителями диагностического, измерительного и метрологического оборудования, такими как Raytek, Rohde&Schwarz, Fluke Industrial, Fluke Calibration, Megger, Sanwa и мн. другими.

Среди ассортимента средств измерительной техники мы предлагаем: анализаторы качества электроэнергии, анализаторы спектра, регистраторы событий; вольтамперфазометры, виртуальные приборы; генераторы сигналов; измерители физических величин; измерители RLC; измерители параметров электрических сетей; источники питания лабораторные; калибраторы электрических сигналов; калибраторы температуры; осциллографы (аналоговые и цифровые, портативные и стационарные); приборы, установки для испытания силовых кабелей; паяльное оборудование; промышленная мебель; пирометры, тепловизионное оборудование; тестеры; частотомеры; калибраторы, мультиметры профессиональные и многое другое.

В состав ООО НПФ «Харьков-Прибор» входит специализированный сервисный центр осуществляющий гарантийное и послегарантийное обслуживание продукции.

Помимо этого имеется свой собственный сервисный центр который включает в себя калибровочную лабораторию, осуществляющую калибровку, поверку и метрологическую аттестацию бесконтактных средств измерения температуры(пирометров, тепловизоров) в диапазоне температур от минус 30°С до 1700°С.

*Наукове видання*

**ЧЕТВЕРТОЇ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**«ВИМІРЮВАННЯ, КОНТРОЛЬ ТА ДІАГНОСТИКА  
В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ (ВКДТС-2017)»**

**Збірник тез доповідей**

Матеріали подаються в авторській редакції

Комп'ютерне оформлення: Овчинников К. В.

Підписано до друку 19.10.2017 р. Гарнітура Times New Roman.  
Формат 29,7 × 42 ½. Друк різнографічний.  
Папір офсетний. Ум. друк. арк. 15,22  
Наклад 160 прим. Зам № 127253

Віддруковано ПП «ТД «Едельвейс і К»  
м. Вінниця, вул. 600-річчя, 17  
Тел.: (0432) 550-333  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру  
ДК №3736