

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

**MEASUREMENT, CONTROL AND DIAGNOSIS  
IN TECHNICAL SYSTEMS**

**ТРЕТЯ МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ**

**«ВИМІРЮВАННЯ, КОНТРОЛЬ ТА ДІАГНОСТИКА  
В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ (ВКДТС-2015)»**

Збірник тез доповідей

**27-29 жовтня 2015 р.**

**ВНТУ  
ВІННИЦЯ  
2015**

**УДК 621.3.08**  
**ББК 30.607**

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: **Столярчук П.Г.**, доктор технічних наук, професор  
**Кухарчук В.В.**, доктор технічних наук, професор

Третя міжнародна наукова конференція «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (ВКДТС-2015), 27-29 жовтня, 2015 р. Збірник тез доповідей. – Вінниця: ПП «ТД«Едельвейс і К», 2015. – 155 с.

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

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

**УДК 621.3.08**  
**ББК 30.607**

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

© Вінницький національний технічний університет, 2015  
© Учбово-науковий центр «Паллада», 2015

## 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, нажаль, 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 ВНТУ

### **Заступники голови:**

Володарський Є.Т., д.т.н., проф. (Україна, Київ, Академія метрології України)

Igor Piotr Kurytnik, prof., drhab. Inz.(Poland, University of Bielsko-Biala)

### **Члени:**

Kazimierz Nikodem, prof. dr hab. (Poland, University of Bielsko-Biala), Milan Dado, prof. ing. (Slovak Republic, University of Zilina), Tadeusz Skubis, prof., dr hab inz. (Poland, Silesian University of Technology), Valentina Vassilenko, prof. ass. (Portugal, Universidade NOVA de Lisboa), Zygmunt Lech Warsza (Poland, Industrial Research Institute of Automation and Measurements), Большаков В.Б., д.т.н., проф. (Україна, Харків), Кветний Р.Н., д.т.н., проф. (Україна, Вінниця), Кухарчук В.В., д.т.н., проф. (Україна, Вінниця), Мокін Б.І., д.т.н., проф. (Україна, Вінниця), Петрук В.Г., д.т.н., проф. (Україна, Вінниця), Руженцев І.В., д.т.н., проф. (Україна, Харків), Стадник Б.І., д.т.н., проф. (Україна, Львів), Столярчук П.Г., д.т.н., проф. (Україна, Львів), Хакімов О.Ш., д.т.н., проф. (Узбекистан, Ташкент)

## **INTERNATIONAL SCIENTIFIC ADVISORY BOARD:**

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

### **Vice Chairmen:**

Volodarskiy Ye.T., prof. (Ukraine, Kiyv, Academy Metrology of Ukraine)

Igor Piotr Kurytnik, prof., drhab. Inz. (Poland, University of Bielsko-Biala)

### **Members:**

Kazimierz Nikodem, prof. dr hab. (Poland, University of Bielsko-Biala), Milan Dado, prof. ing. (Slovak Republic, University of Zilina), Tadeusz Skubis, prof., dr hab inz. (Poland, Silesian University of Technology), Valentina Vassilenko, prof. ass. (Portugal, Universidade NOVA de Lisboa), Zygmunt Lech Warsza (Poland, Industrial Research Institute of Automation and Measurements), Bolshakov V., prof. (Ukraine, Kharkiv), Kvetny R., prof. (Ukraine, Vinnytsia), Kuharchuk V., prof. (Ukraine, Vinnytsia), Mokin B., prof. (Ukraine, Vinnytsia), Petruk V., prof. (Ukraine, Vinnytsia), Ruzhentsev I., prof. (Ukraine, Kharkiv), Stadnik B., prof. (Ukraine, Lviv), Stolyarchuk P., prof. (Ukraine, Lviv), Hakimov O., prof. (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. Прилади і методи контролю та діагностики.
3. Метрологічне забезпечення засобів вимірювань, контролю та діагностики.
4. Математичне моделювання процесів в засобах вимірювання, контролю та діагностики. Інформаційно-вимірювальні системи.

## **SCIENTIFIC PROGRAM**

The conference will highlight scientific achievements of leading scientists of Ukraine and the world in the field of measuring, control and diagnostics of technical systems and their application in industrial enterprises of Ukraine.

### **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. Metrological support of measurement, control and diagnostics
4. Mathematical modeling of processes in the measure, control and diagnostics. Information-measuring systems

## ЗМІСТ

<b>ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ (PLENARY SESSION)</b>	
<i>Автор доповіді</i>	
<i>О.В.Бісікало, д.т.н., проф.; М.М.Биков, к.т.н., проф.; С.Г.Кривогубченко, к.т.н., доц.; Я.А.Кулик, к.т.н., асистент; В.Ю.Кучерук, д.т.н., проф.; В.М.Папінов, к.т.н., доц. (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Багатофункціональний учбовий комп'ютеризований комплекс засобів промислової мікропроцесорної техніки	151
<i>П.І.Кулаков, к.т.н., доц. (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Елементи теорії вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доіння	15
<b>СЕКЦІЯ 1 (SECTION 1)</b> <b>Теоретичні основи вимірювань, контролю та технічної діагностики</b> <b>Theoretical foundations of measurement, control and technical diagnostics</b>	
<i>Автор та назва доповіді</i>	<i>Стор.</i>
<i>В.В.Мартынюк, д.т.н., доц.; В.В.Котенев аспірант (Україна, м. Хмельницький, Хмельницький національний університет)</i> Метод повышение достоверности контроля защитного потенциала устройств антикоррозионной защиты	13
<i>В.Ю.Кучерук, д.т.н., проф.; Р.І.Ліщук (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Автоматизація процесу визначення динамічних метрологічних характеристик стрілочних вимірювальних приладів	14
<i>А.В.Хома, аспірант (Україна, Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)</i> Застосування вейвлет-перетворення для знешумлення інтерферограм білого світла	16
<i>Н.І.Косач, д.т.н., с.н.с. (Україна, м. Харків, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.Жуковського «Харківський авіаційний інститут»)</i> Впровадження в Україні стандартів ISO 7066-1 і ISO 7066-2 з оцінення невизначеності під час калібрування та застосування приладів вимірювання витрати	17
<i>Р.В.Городняк, асистент (Україна, Львів, Львівський національний аграрний університет)</i> Оптимізація числа факторів методом моделювання при планованому експерименті	19
<i>І.В. Дмитрів, к.т.н. (Україна, Львів, Львівський національний аграрний університет)</i> Аналіз основних показників роботи паливної апаратури	21
<i>О.В.Малик, к.т.н.; М.С.Міхалева, к.т.н., доцент; П.Г.Столярчук, д.т.н., професор (Україна, Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)</i> Контроль якості молока за амплітудно – частотними характеристиками	23
<i>М.А.Філінюк, д.т.н., проф.; О.О.Лазарєв, к.т.н., доц.; Д.В.Бондарюк, аспірант; А.С.Полищук, магістр (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Дослідження радіочастотної системи живлення напівактивних сенсорів	26
<i>Р.І.Байцар, д. т. н., проф.; Ю.М.Кордіяка, аспірант (Україна, Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)</i> Ультрафіолетові фільтри у косметичній продукції	27
<i>А.В.Мартынюк, аспірант; Л.Н.Щербак, д.т.н., проф. (Україна, м. Київ, Національний авіаційний університет)</i> Измерение характеристик шумов как информационных сигналов	30

<i>О.Д.Близнюк, Ю.В.Куц, д.т.н., проф., О.С.Мельник (Україна, Київ, Національний університет України «КПІ») Застосування методів статистичної фазометрії в задачах ультразвукової луна-імпульсної товщинометрії</i>	31
<i>О.В.Монченко, к.т.н., доц.; Ю.А.Олійник, аспірант; Б.В.Добржанська, асистент (Україна, Київ, Національний авіаційний університет) Використання фазоманіпульованих сигналів для підвищення точності вимірювання товщини виробів з композиційних матеріалів</i>	32
<i>В.Ю.Кучерук, д.т.н., М.В.Глушко, студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет) Обробка вібраційної інформації з використанням теорії детермінованого хаоса</i>	33
<i>М.В.Глушко, студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет) Тепловізійне обстеження будівель – актуальна потреба в енергозбереженні та в дослідженні теплових втрат</i>	34
<i>Ю.Г.Ведміцький, к.т.н.; В.В.Кухарчук, д.т.н., проф. (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет) Віброконтроль гідрогенераторів на основі інтегральних віброприскорень 1-го та 2-го порядків</i>	35
<i>О.М.Васілевський, к.т.н., доцент (Україна, Київ, Міністерство освіти і науки України) Спектральний метод оцінювання динамічної непевності вимірювання</i>	38
<i>Я.В.Волинська (Україна, Київ, національний університет технологій та дизайну) Особливості вимірювання об'ємної витрати та об'єму рідини у відкритих каналах</i>	39
<i>В.Ю.Кучерук д.т.н., проф.; Д.М.Компанець, магістрант (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет) Огляд методів отримання, характеристик та способів використання графену у вимірювальній техніці</i>	41
<i>В.Г.Петрук, д.т.н., проф.; С.М.Кватернюк, к.т.н. с.н.с.; А.О.Слободянюк, студ.; А.В.Почапська, студ.; К.В.Федорова, студ. (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет) Вдосконалення методів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю та діагностування параметрів неоднорідних біологічних середовищ</i>	42
<i>О.Є.Середюк, д.т.н., проф.; Т.В.Лютенко, аспірант; Б.І.Прудніков, метролог (Україна, Івано-Франківськ, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу) Наукові засади бездемонтажної повірки побутових лічильників газу за обмеженим діапазоном робочих витрат</i>	43
<i>О.П.Яненко, д.т.н., проф.; В.О.Кальнюк, спеціаліст (Україна, Київ, Національний університет України «КПІ») Медичні ефекти електрофульгурації</i>	46
<i>В.В.Кухарчук, д. т. н., проф.; С.Ш.Кацив, к. т. н., доц.; В.Г.Мадьяров, к. т. н., доц.; С.О.Биковський (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет) Особливості вібродіагностування оборотних гідроагрегатів гідроакумуючих електростанцій</i>	47
<i>О.Ш.Хакимов, д. т. н., проф.; П.М.Матякубова, д. т. н., проф.; Р.Р.Джаббаров, к.т.н., доцент; Р.Р.Исломов, к.т.н., доцент (Узбекистан, Ташкент, НИИ СМС Агентство «Узстандарт», Ташкентский государственный технический университет) Неопределенность метода измерения коэффициента отражения ультразвуковой волны от границы раздела твердое тело – жидкость</i>	48
<i>С.С.Федин, д.т.н., проф.; И.С.Зубрецькая, аспірант (Україна, Київ, Київський національний університет технологій і дизайну) Нейросетевая аппроксимация r/t-характеристики ntc-термистора</i>	51
<i>Y.N.Kharlatova, postgraduate (Україна, м. Дніпропетровськ, ДВНЗ «Національний Гірничий Університет») Comparative analysis of global extremums seeking of test functions by heavy ball method based on the principle of symmetry interaction between two representative points</i>	53

<i>М.М.Биков, к.т.н., проф.; А. Раїмі, PhD, проф. (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет, SENEGAL, Dakar, Universite Cheikh Anta Diop de DAKAR)</i> Оцінка інформаційних характеристик систем з ранговим параметричним описом	56
<b>СЕКЦІЯ 2 (SECTION 2)</b> <b>Первинні вимірювальні перетворювачі та сенсори</b> <b>Primary transducers and sensors</b>	
<i>О.М. Возняк, к.т.н., доцент; В.К. Тихонов, доцент; В.П. Кулик, студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Аналіз сучасних методів вимірювання ємності акумуляторів	58
<i>О.О.Антонюк, аспірант; Є.В.Походило, д.т.н., професор (Україна, Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)</i> Проблеми використання неінвазивних сенсорів для імпедансометрії біологічних об'єктів	59
<i>І.С.Петришин, д.т.н, проф., Т.І.Присяжнюк, к.т.н., О.А.Бас, к.т.н. (Україна, м. Івано-Франківськ, ДП «Івано-Франківськстандартометрологія»)</i> Розроблення пробовідбірника поршневого типу для природного газу з трубопроводів низького тиску в побутовому секторі	60
<i>В.В.Присяжнюк, старший викладач; В.М.Коробка, студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Прилад для безперервного вимірювання зміни атмосферного тиску	63
<i>П.І.Кулаков, к.т.н., доцент; У.С.Мельничук, студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Вимірювальний перетворювач рівня молока у молокоприймальній камері доїльного апарату на основі магнітоактивних елементів	64
<i>П.І.Кулаков, к.т.н., доцент; Р.С.Білієнко, студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Вимірювальний перетворювач миттєвої інтенсивності молоковіддачі	65
<i>П.І.Кулаков, к.т.н., доц.; Т.В.Гнесь, аспірант (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Вимірювання відносної масової частки молока у водно-молочному розчині	66
<i>Й.Й.Білінський, д.т.н., проф.; І.В.Сухоцька, аспірантка (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Засіб контролю геометричних параметрів малогабаритних об'єктів складної форми	67
<i>О.Г.Ігнатенко, ст. викл. Т.М.Рукомед, студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Мікропроцесорний ємнісний рівнемір	68
<i>О.Л.Гайдамак, к.т.н., доцент, В.І.Савуляк, д.т.н., професор, В.Ю.Кучерук, д.т.н., професор, А.Рабінко, студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет	69
<i>В.Ю.Кучерук, д.т.н., проф.; М.А.Данілова, студентка (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Прилад для безконтактного вимірювання температури	71
<i>С.М.Кондур, к.т.н., доцент (Україна, Львів, Львівський національний аграрний університет)</i> Оптичний датчик для дослідження динаміки клапанів регуляторів тиску	72
<i>І.В.Коробко, д.т.н., доц. ; В.В.Кротевіч, аспірант (Україна, Київ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»)</i> Турбінний вимірювальний перетворювач витрати газу з високими метрологічними характеристиками	74



<i>О.Б.Мокін, д.т.н., проф., Б.І.Мокін, д.т.н., проф., акад. НАПН України, Ю.А.Лобатюк, магістр електромеханіки, В.О.Сухов, студ. (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Технічна діагностика гальмівної системи електричного транспортного засобу з використанням моделювання процесів в її складових	75
<i>А.П.Потыльчак, к.т.н., доц.; Г.А.Черепашук, к.т.н., доц. (Україна, Харків, ТОВ «Інженерне бюро Авіаційного інституту»)</i> Прибор для измерения средних значений плотности в потоке буровой жидкости	76
<i>В.М.Севастьянов, к.т.н., доц.; М.О.Руденко, магістр (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Перетворювач рівня рідини на основі RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань	78
<i>О.М. Васілевський, к.т.н., доцент; Є.О. Данилюк, студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Засіб вимірювання активності іонів на основі перетворювача напруги в частоту	79
<i>В. Севастьянов, К. Погрелюк, (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Прибор для измерения радиоактивного излучения	80
<b>СЕКЦІЯ 3 (SECTION 3)</b> <b>Метрологічне забезпечення засобів вимірювань, контролю та діагностики</b> <b>Metrological support of measurement, control and diagnostics</b>	
<i>Л.О.Ковтун, к.т.н. (Україна, Хмельницький, Хмельницький національний університет)</i> Оцінка вірогідності контролю вологості оптично-прозорих листових матеріалів (офсетного паперу)	82
<i>В.І.Банга, к.т.н, доцент, В.Т.Дмитрів, к.т.н., доцент, Ю.В.Банга, магістр (Україна, Львів, Львівський аграрний університет)</i> Методика калібрування вимірювача маси потоку сипучих матеріалів	83
<i>Н.Є.Гоц, д.т.н., доцент, професор кафедри МСС; Ю.М.Дзіковська, аспірант (Україна, Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)</i> Методика калібрування тепловізора в робочих умовах	86
<i>К.О.Зубенко, студентка (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Метрологічне забезпечення оцінювання якості шоколаду	87
<i>Н.І.Сторожук (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Метрологічне забезпечення та контроль якості на прикладі виробництва вафельної продукції	88
<i>В.Н.Тихенко, д. т. н., професор; Т.С.Антоненко, соискатель (Україна, Одеса, Одеський національний політехнічний університет)</i> Оценка неопределенности измерения влажности окружающей среды с помощью психрометра тм-6	90
<i>І.В.Коваленко, асистент; В.В.Кійко, асистент (Україна, Дніпропетровськ, ДВНЗ «Національний Гірничий Університет»)</i> Проблеми розрахунку невизначеності в випробувальних лабораторіях	93
<i>І.А.Омельчук, заступник начальника відділу метрологічного забезпечення, вимірювань та наукової діяльності, начальник калібрувальної лабораторії (Україна, Житомир, Житомирстарт.метрологія)</i> Використання статистичних методів обробки результатів вимірювання для оцінювання метрологічних характеристик ЗВТ при калібруванні	94
<i>Й.Й.Білинський, д.т.н, проф.; О.П.Керсов; М.О.Стасюк (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Метод розширення діапазону вимірювання різниці фаз	98
<i>Т.Г.Бойко, д.т.н., проф.; Т.В.Рябова аспірант (Україна, Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)</i> Оцінювання ступеня небезпеки здійснення господарської діяльності	99

<i>В.Ю.Кучерук, д.т.н., проф.; І.А.Дудатьєв, асистент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Моделі адаптації засобу контролю концентрації компонентів димових газів котельних установок	101
<i>О.М.Возняк, к.т.н. доцент, М.А.Мамчур, студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Опрацювання результатів непрямих вимірювань використання лінійної апроксимації	103
<i>Л.М.Заміховський, І.Т.Левицький.(Україна, Івано-Франківськ, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу)</i> Актуальність стандартизації систем контролю металовключень	104
<b>СЕКЦІЯ 4 (SECTION 4)</b> <b>Математичне моделювання процесів в засобах вимірювання, контролю та діагностики. Інформаційно-вимірювальні системи</b> <b>Mathematical modeling of processes in the measure, control and diagnostics. Information-measuring systems</b>	
<i>В.М. Ванько д.т.н., проф., П.Г. Столярчук, д.т.н., проф., М.М. Микийчук, д.т.н., доц., Т.З. Бубела, д.т.н., доц (Україна, Львів, Національний університет «Львівська політехніка»)</i> Нозвиток кібер-фізичної системи для управління вирощуванням зернових культур	108
<i>О.М.Безвесільна, д.т.н, проф.; А.Г.Ткачук, к.т.н.; Т.В.Хильченко, аспір. (Україна, Київ, Національний університет України «КПІ»)</i> Система ударо- і віброзахисту навігаційного комплексу легкої броньованої техніки	109
<i>Н.Н.Сулима, к.т.н; Н.В.Зарицкая (Украина, Одесса, Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова)</i> Некоторые особенности формирования сигналов в доступных системах объектно-ориентированного проектирования	112
<i>В.Т.Дмитрів, к.т.н., доцент (Україна, Львів, Львівський національний аграрний університет)</i> Динамічне моделювання швидкісних характеристик руху молока в молочному шлангу доїльного апарата	113
<i>О.С.Баранова, аспірант (Україна, Київ, Київський національний університет технологій та дизайну)</i> Цифрове моделювання частотних характеристик плит композитного матеріалу	116
<i>А.Я.Кулик, д.т.н., проф.; С.Г.Кривогузченко, к.т.н., доц.; Ю.Ю.Іванов, асп.; І.Ю.Іванов, лік. вищ. кат. (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Алгоритм турбо-декодування PL-log-MAP для цифрової системи передавання даних у складі телемедичного комплексу	118
<i>О.В.Бісікало, д.т.н., проф.; С.С.Траченко, магістр ФКСА; О.В.Яхимович, магістр ФКСА; А.І.Лисовенко, аспірант (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Моделювання процесів побудови парадигматичних зв'язків між словоформами на основі вимірювання текстової інформації	119
<i>О.І.Гороховський, к.т.н., доц., зав. каф. ОТ, К. І. Ошовська ст. гр. ІКС-14мн (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Управління якістю для отримання оптимального результату в системі керування транспортною мережею міста»	122
<i>В.Ю.Кучерук, д.т.н., проф.; Д.І.Сікорський, студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет)</i> Інформаційно-вимірювальна система для визначення механічних характеристик електричних машин	124
<i>С.В.Голуб, д.т.н., проф. (Україна, Черкаси, Черкаський національний університеті імені Богдана Хмельницького)</i> Моделювання об'єктів вимірювання в технології соціоекологічного моніторингу	125

Й.Й.Білінський, д.т.н., проф.; М.В.Гладишевський, здобувач, Метрологічний центр НАК «Нафтогаз України» (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет, Метрологічний центр Національної акціонерної компанії «Нафтогаз України») Математична модель ультразвукового вимірювального перетворювача швидкості плинних середовищ	127
О.Б.Мокін, д.т.н., проф., Б.І.Мокін, д.т.н., проф., акад. НАПН України, В.П.Базалицький, магістр, В.В.Горенюк, інж. 1-ої кат., О.М.Кривоніс, студ. (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет) Інформаційно-вимірювальна система для вимірювання потужності вітрового потоку, створеного залізничними потягами	129
В.Б.Мокін, д.т.н., проф.; Г.В.Горячев, к.т.н., доцент; Д.Ю.Дзюняк, аспірант; К.О.Бондалетов (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет) Інформаційно-вимірювальні системи для ідентифікації параметрів моделі забруднення атмосферного повітря автотранспортом з використанням мобільних пристроїв та фотометричних, у т.ч. лазерних, пристроїв і систем	130
Н. А. Иконникова, к.т.н. (Україна, Дніпропетровськ, ДВНЗ "Національний гірничий університет") Особенности математического моделирования хаотических процессов в технических системах для контроля и диагностики их работы	133
О.М.Возняк, к.т.н., С.В.Тихонова; І.В.Климчук, студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет) Аналіз сучасних бортових комп'ютерів	136
К.В.Овчинников, к.т.н.; Т.В.Лисак, студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет) Автоматизована система визначення придатності до використання колісної бази вагонів залізничного транспорту	137
К.В.Овчинников, к.т.н.; Ю.А.Шевчук, студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет) Система автоматизованого управління твердопаливним котлом малої потужності	138
І.О.Сивак д.т.н., проф., зав. каф. ТАМ, Д.О.Лозінський, к.т.н., доц., Є.І.Шевчук, аспірант, В.Г.Пилявець ст. гр. ІТМ-14мн (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет) Електрогідравлічна система керування ротаційною витяжкою вісесиметричних заготовок	139
М.Я.Николайчук к.т.н., доцент; І.Т.Левицький асистент; О.Л.Заміховська к.т.н., доцент (Україна, Івано-Франківськ, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу) WEB-орієнтована система контролю витрати води підприємств комунального господарства	142
Л.М.Заміховський, д.т.н., проф.; В.В.Павлик, здобувач (Україна, Івано-Франківськ, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу) Дослідження статистичних характеристик параметрів ГПА ГТУ - 25і	145
Л.М.Заміховський, д.т.н., проф.; Н.І.Іванюк, асистент (Україна, Івано-Франківськ, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу) Результати дослідження вібраційного стану лопаткового апарату ГПА Ц-16С	147
В.В.Присяжнюк, старший викладач, А.Я.Ковач студент (Україна, Вінниця, Вінницький національний технічний університет) Автоматизована система для вимірювання параметрів фітоклімату в теплиці	149

**СЕКЦІЯ 1 (SECTION 1)**  
**Теоретичні основи вимірювань, контролю та**  
**технічної діагностики**  
**(Theoretical foundations of measurement, control and**  
**technical diagnostics)**

**В.В. Мартынюк, д.т.н., доц.; В.В. Котенев, аспирант**

## **МЕТОД ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ ЗАЩИТНОГО ПОТЕНЦИАЛА УСТРОЙСТВ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ**

Ключевые слова: электрический нагреватель воды, защитный потенциал, достоверность контроля, катодная защита внешним током.

Электрические нагреватели воды (ЭНВ) являются одним из наиболее распространенных видов эмалированной бытовой нагревательной аппаратуры. Внутренняя рабочая поверхность ЭНВ подвергается воздействию электрохимической коррозии. Для предотвращения коррозии дефектных участков покрытия внутренних стального бака ЭНВ (не защищенных стеклоэмалевым покрытием) используется катодная защита внешним током (КЗВТ).

Основным критерием КЗВТ является защитный потенциал, а также методы и устройства его контроля. Контроль защитного потенциала ЭНВ является основным фактором снижения скорости коррозии ЭНВ и продления срока их эксплуатации и имеет огромное значение для повышения экономической эффективности использования ЭНВ.

Повышение достоверность контроля защитного потенциала КЗВТ имеет очень важное значение для повышения эффективности устройств антикоррозионной защиты ЭНВ. Чем выше достоверность контроля защитного потенциала КЗВТ, тем точнее можно устройство КЗВТ сможет поддерживать этот потенциал в процессе эксплуатации ЭНВ, а их коррозия будет минимально допустимой.

С целью повышения достоверности контроля защитного потенциала ЭНВ необходимо разработать более удобную для применения математическую модель коррозии, поскольку существующие математические модели коррозии не отражают нелинейного характера процесса коррозии. Главным недостатком существующих математических моделей коррозии [1] является сложные аналитические выражения, с помощью которых описывается диффузионный характер процесса коррозии.

Основными недостатками существующих приборов контроля защитного потенциала ЭНВ является большая погрешность измерения вследствие влияния постоянно приложенного защитного потенциала, возникновение автоколебаний при автоматической регулировке, а также необходимость регулярной юстировки электрода сравнения и затраты на него.

Использование прерывания защитного тока в приборах контроля защитного потенциала ЭНВ позволит исключить в схеме автоматической катодной защиты электрод сравнения, что значительно уменьшит себестоимость таких приборов.

Предлагается метод повышения достоверности контроля защитного потенциала ЭНВ, особенностью которого является то, что в определённые промежутки времени периодически отключается рабочее напряжение, и прекращает течь защитный ток. На время прерывания токовый электрод выполняет функции измерительного электрода.

Ввиду высокого входного сопротивления измеряющего устройства удаётся измерить усреднённую взвешенную величину защитного потенциала на рабочем электроде с учётом влияния падения напряжения в электролите. По окончании времени прерывания снова включается рабочее напряжение, но уже на уровне, исходя из измеренной разницы между величиной защитного потенциала и установленного значения. Этот уровень рабочего напряжения не изменяется до момента последующего прерывания.

Предложенный метод имеет следующие преимущества по сравнению с существующими методами: в период прерывания измеряется средний потенциал всех поверхностей, отсутствие пространственного разброса точки приложения рабочего напряжения и точки измерения упрощение конструкции.

Список литературных источников:

1. Мартынюк В.В. Анализ математических моделей коррозии для приборов контроля антикоррозионной защиты электрических нагревателей воды / В.В. Мартынюк, В.В. Котенев // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2014. – №4. – С. 79 – 83.

**В.Ю. Кучерук, д.т.н., проф.; Р.І. Ліщук**

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРІЛОЧНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИБЛІДІВ**

Ключові слова: динамічні метрологічні характеристики, передаточна функція, MatLab.

Сучасний рівень інформаційно-вимірювальних систем з використанням засобів технічного зору дають широкі можливості автоматизації випробувань стрілочних вимірювальних приладів. Аналіз досліджень [1-3] свідчить про високий рівень розвитку технічних і алгоритмічних засобів. У роботі [3] розроблена імітаційна модель функціонування системи автоматизації повірки, яка дозволяє імітувати різні способи повірки, включаючи і динамічний режим.

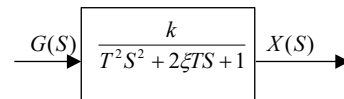
Незважаючи на досягнення, невирішеною залишається задача створення інформаційно-вимірювальних систем, що забезпечують побудову універсальних автоматизованих комплексів для випробувань аналогових стрілочних індикаторів у динамічному режимі роботи.

Отже, актуальним є автоматизація процесу визначення динамічних метрологічних характеристик стрілочних вимірювальних приладів, що дозволить підвищити точність вимірювання та знизити часові та трудові витрати.

Коливальною ланкою називається найпростіший динамічний елемент системи автоматичного керування або його складова частина, що має передаточну функцію виду

$$W(S) = \frac{k}{T^2 S^2 + 2\xi TS + 1} \quad (1)$$

На структурних схемах коливальна ланка зображується в такий спосіб:



Динамічні властивості коливальної ланки визначаються трьома параметрами [1]:

$k$  – коефіцієнтом підсилення (передачі) коливальної ланки;

$T$  – постійна часу коливальної ланки;

$\xi$  – відносний коефіцієнт затухання коливальної ланки  $0 \leq \xi < 1$ .

Перетворюючи рівняння (1) отримаємо:

$$h(t) = k \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\frac{\xi}{T}t} \cdot \sin \left( \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T} t + \varphi \right) \right] = h(t) \quad (2)$$

$$\varphi = \arctg \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}$$

Рівняння (2) яке описує затухаючий коливальний процес з відносним коефіцієнтом затухання та частотою  $\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T}$ . Значення, що встановилось, цільової функції визначається як  $k = \lim_{t \rightarrow \infty} h(t)$ .

Графік функції  $h(t)$  показаний на рис. 1:

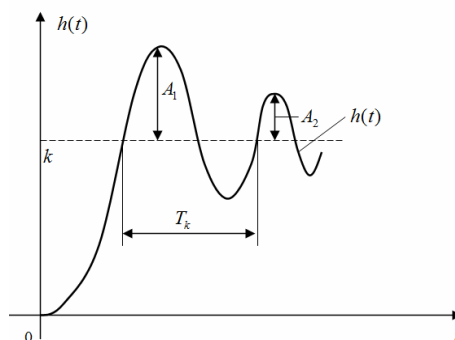


Рисунок 1 – Затухаючий коливальний процес

де,  $T_k$  – період коливань,  $A_1, A_2$  – амплітуди двох сусідніх коливань.

За графіком функції  $h(t)$  можна визначити параметри коливальної ланки в такий спосіб:

Коефіцієнт підсилення коливальної ланки визначають за встановленим значенням перехідної функції  $k = \lim_{t \rightarrow \infty} h(t)$ .

Постійну часу  $T$  і коефіцієнт затування  $\xi$  можна знайти з рівнянь:

$$\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T} \cdot T_k = 2 \cdot \pi; \quad (3)$$

$$\frac{A_1}{A_2} = e^{-\frac{\xi}{T} T_k} \quad (4)$$

Для автоматизації процесу визначення динамічних метрологічних характеристик фотографують покази приладу через певний дискретний час. При практичних випробуваннях встановлено, що один кадр зображення отримувався в середньому за 15-40 мс. До цього проміжку часу додавався час на запис зображення на НЖМД. При циклічному фотографуванні приладу створюється папка з цифровою фотографією показу приладу. Далі, ці зображення також у циклічному режимі розпізнають.

У результаті маємо масив зображень показів приладу з відповідним їм рядом часу, в моменти якого ці фото були отримані. Для визначення динамічних метрологічних характеристик стрілочних вимірювальних приладів ці масиви імпортуються в пакет прикладних програм – MatLab.

За допомогою пакету Curve Fitting апроксимуємо ці значення відповідно до рівняння, яке описує затухаючий коливальний процес [2]. Результат представлений на рис.2.

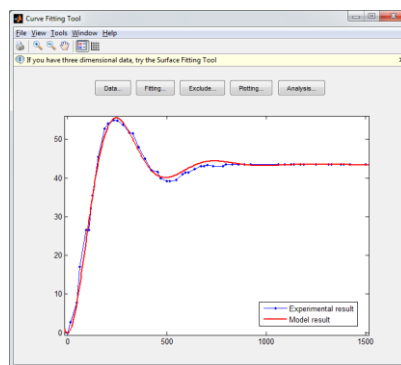


Рисунок 2 – Результат апроксимації

Параметри математичної моделі (довірчий інтервал з надійністю 95%):  $T = 72.53$  (71.92, 73.15);  $k = 43.44$  (43.3, 43.59);  $\xi = 0.3776$  (0.3697, 0.3855). Статистичні показники: SSE = 10,41; R-square = 0,9984; Adjusted R-square = 0,9983; RMSE = 0,4706;

Квадрату змішаної кореляції (R-square = 0,9984) та уточненого квадрату змішаної кореляції (Adjusted R-square = 0,9983) наближаються до 1, що свідчить про гарне наближення вихідних даних параметричною моделлю. Наближення суми квадратів похибок (SSE = 10,41) до нуля говорить про гарну якість наближення даних параметричною моделлю. Але візуальний аналіз графіка побудованої моделі показує добре наближення між емпіричними даними та теоретичними даними.

Список літературних джерел:

1. Свинолулов Ю.Г. Автоматизированные установки для поверки и градуировки стрелочных приборов / Свинолулов Ю.Г., Седов Э.Н. // ПСУ. - 1995. - № 2. - С.30-34.
2. Патент 2054689 Способ автоматической поверки стрелочных измерительных приборов / С.К. Киселев, Л.В. Федотов, В.А. Мишин. Опубл. Б.И. 1996, №5.
3. Киселев С. К. Способы автоматической поверки стрелочных электроизмерительных приборов в динамических режимах / автореферат диссертации по приборостроению, метрологии и информационно-измерительным приборам и системам, 05.11.05
4. ДСТУ 2681-94. Державний стандарт України. Метрологія. Терміни та визначення. - Київ, 1994.
5. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB/ Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М.: Техносфера, 2006.

**А.В. Хома, аспірант**

## **ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ЗНЕСУМЛЕННЯ ІНТЕРФЕРОГРАМ БІЛОГО СВІТЛА**

Ключові слова: інтерферометрія білого світла, знесумлення інтерферограм, спектр сигналу, вейвлет-перетворення, апроксимуючі та деталізуючі коефіцієнти, пороговання

Інтерферометрія білого світла є безконтактним методом вимірювання, що широко використовується для визначення геометричних розмірів, позиції, топографії поверхні досліджуваного об'єкту [1,2]. Завдяки своїм перевагам (відсутності контакту з досліджуваним об'єктом, високій швидкості сканування, великій області вимірювання) інтерферометрія білого світла також застосовується і для визначення температури, тиску, якості матеріалів для мікроелектромеханічних систем, рідкокристалічних дисплеїв, тощо [3,4,5].

На сьогоднішній день механічні та електронні вузли інтерферометрів забезпечують реєстрацію інтерферограм із високою точністю та відтворюваністю, проте цей процес все ж таки супроводжується спотвореннями, зумовленими нелінійностями оптики та зовнішніми шумами.

Тому актуальним завданням є пошук методів знесумлення інтерферограм. За наявності нелінійності поверхні досліджуваних об'єктів, спектр інтерферограми змінюється у різних точках поверхні [6], що унеможливує застосування частотної фільтрації. У роботі досліджено ефективність знесумлення інтерферограм у просторово-частотній області на основі вейвлет-перетворення.

Вейвлет-перетворення дає змогу розкласти сигнал  $S$  на апроксимуючі коефіцієнти  $cA_j$ , що представляють згладжений сигнал, і деталізуючі коефіцієнти  $cD_j$ , які описують його флуктуації [7]:

$$S = cA_N + cD_N + cD_{N-1} + \dots + cD_2 + cD_1, \text{ де } N - \text{рівень декомпозиції.}$$

Шумова компонента переважно відображається у деталізуючих коефіцієнтах  $cD_j$ . Тому при видаленні шуму обробляються деталізуючі коефіцієнти. Оскільки рівень шумової компоненти менший, ніж корисний сигнал, то найпростіший спосіб видалення шуму – це онулення значень коефіцієнтів, які менші певного порогового рівня (порогування).

Знесумлення інтерферометричної картини за методом вейвлет-перетворення проводилося на синтезованих за допомогою математичної моделі даних із відношенням сигнал/шум 30 дБ. Для знесумлення сигналу вибрано вейвлет типу Добеші 9 із третім рівнем розкладу та м'яким методом пороговання.

Дослідження показали, що за використання вейвлет-перетворення можна суттєво покращити якість зображення інтерферограми порівняно з вхідними даними. При цьому усунути шуми вдається без спотворень корисного сигналу, а відношення сигнал/шум для інтерферограми білого світла збільшується до 40 дБ.

Ефективність знесумлення за допомогою вейвлет-перетворення апробовано на реальній інтерферограмі білого світла, що отримана для сферичної поверхні. Хоча якість зображення інтерферограми істотно покращилася, проте спостерігаються оптичні спотворення.

Список літературних джерел:

1. K. Kitagawa, 3D Profiling of a Transparent Film using White-Light Interferometry, in SICE Annual Conference, Japan, Sapporo, 4-6 August 2004, pp.585-590.
2. V. Heikkinen, R. Kurppa, et al., "Quality control of ultrasonic bonding tools using a scanning white light interferometer", in IEEE International Ultrasonics Symposium, pp. 1428-1430, 2010.
3. J. G. Kim. "Absolute temperature measurement using white light interferometry", JOSK, vol.4, no.2, pp.89-93, September 2000.
4. W. J. Bock, W. Urbanczyk, "Coherence multiplexing of fiber-optic pressure and temperature sensors based on highly birefringent fibers", IEEE Trans. Instrum. Meas, vol.49, no.2, pp.392-397, 2000.
5. W. Cong-fei, W. Guang-long, et al., "The signal interrogation technology of MEMS optical fiber pressure sensor" in International Conference on Information and Automation, pp. 1285-1288, 2009.
6. B. Stadnyk, E.Manske, A.Khoma, State and prospects of computerized systems monitoring the topology of surfaces, based on white light interferometry, Computational Problems of Electrical Engineering, Vol. 4, No. 1, 2014, pp. 75-80.
7. Rafael C. Gonsales, Richard E. Woods, Steven L. Eddins: Digital Image Processing using MATLAB. Pearson Education Inc, Prentice Hall, 2006. 616 p.



Н.І.Косач, д.т.н., с.н.с.

## ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ СТАНДАРТІВ ISO 7066-1 І ISO 7066-2 З ОЦІНЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПІД ЧАС КАЛІБРУВАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПРИЛАДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ

Ключові слова: невизначеність, калібрувальна характеристика, вимірювання витрати, похибка вимірювання

Як відомо, в останні роки все більшу увагу приділяється саме калібруванню засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), зокрема, приладів вимірювання витрати (витратомірів) речовин, будь то рідини, включаючи нафту та нафтопродукти, або газу, включаючи зріджений та природний. Тому доречно виникають питання щодо точності та достовірності нормування калібрувальних характеристик витратомірів, оцінки невизначеності, яка пов'язана з цими калібруваннями, а також правильності і однозначності застосування алгоритму оцінення невизначеності, яка виникає як у вимірах, отриманих з використанням узагальненої характеристики, так і для обчислення невизначеності середнього від кількості вимірів тієї самої витрати.

Як правило, не всі ЗВТ витрати мають лінійні калібрувальні характеристики, що, однак, не обмежує їх застосування у певних галузях, але вимагає деякі інші підходи при оціненні невизначеності, яка виникає у вимірах.

Враховуючи все це, для узагальнення алгоритму оцінення невизначеності, який би враховував особливості процедури калібрування ЗВТ витрати, було розроблено відповідні міжнародні стандарти ISO/TR 7066-1 та ISO 7066-2, які впроваджені в Україну як ДСТУ ISO/TR 7066-1:2007 «Оцінення невизначеності під час калібрування та застосування приладів вимірювання витрати. Частина 1. Лінійні калібрувальні характеристики» та ДСТУ ISO 7066-2:2007 «Оцінення невизначеності під час калібрування та застосування приладів вимірювання витрати. Частина 2. Нелінійні калібрувальні характеристики». Ці обидва стандарту чинні в Україні з 01.01.2009 р., але про їх існування, не говорячи про застосування, мало кому відомо.

У стандарті ДСТУ ISO/TR 7066-1:2007 розглядаються тільки лінійні залежності, тому він застосовується лише, якщо залежності між двома змінними або лінійні, або одну чи обидві змінні можна перетворити таким чином, щоб створити лінійні залежності між ними як, наприклад, за допомогою логарифмів, чи повний діапазон можна розділити таким чином, що в межах кожного піддіапазону залежності між двома змінними можна було б вважати лінійними, та якщо систематичні відхилення від апроксимованої характеристики незначні порівняно з невизначеністю, пов'язаною з окремими спостереженнями, що формують характеристику.

У більшості калібрувань, які підпадають під ДСТУ ISO/TR 7066-1:2007, залежності між змінними мають функціональний характер та визначаються деякою формою математичного виразу. Будь-який відхил спостережуваних значень від цієї залежності може бути приписано похибкам вимірювання одного чи іншого виду, які можуть впливати на одну чи обидві змінні та які можуть бути чи випадковими, чи систематичними або комбінацією цих двох складників.

Призначення процедури калібрування ЗВТ витрати є подвійним: з однієї сторони, визначити форму вихідної апроксимуючої математичної залежності, з іншої – оцінити невизначеності апроксимуючої прямої лінії:

$$y = a + bx \tag{1}$$

де:  $x$  – змінна з меншою похибкою;

$a$  та  $b$  – коефіцієнти апроксимувальної прямої, що мають бути визначені.

В ДСТУ ISO/TR 7066-1:2007 зазначено, що для визначення випадкових невизначеностей та границь систематичних похибок двох змінних, немає ніяких альтернативних процедур, ніж наведених у ISO 5168, який впроваджений в Україні як ДСТУ ISO 5168:2013 «Вимірювання витрати плинного середовища. Методики оцінювання невизначеності (ISO 5168:2005, IDT)» і чинний з 01.07.2014 р.

Згідно з цією методикою першим кроком у оціненні невизначеності під час калібрування ЗВТ витрати є підготування таблиці для кожної змінної з зазначенням різних джерел похибки.

Вони повинні містити в собі похибки будь-яких основних процедур вимірювання, які необхідно провести, та включати окремо випадкові та систематичні складники.

Багато провести попереднє оцінення щоб встановити, чи є лінійна калібрувальна характеристика (1) адекватною та об'єктивною апроксимацією спостережуваних вимірів. Виконати це можна застосовуючи методи Берксона або Бартлетта, як це описано в цьому стандарті.

Там де попередні випробування показали, що калібрування найкраще апроксимуються деякою формою нелінійної залежності, необхідно розглянути можливість перетворення даних до лінійної форми, застосовуючи методи прямої лінеаризації, описаний в ДСТУ ISO/TR 7066-1. Перевага такої дії полягає в тому, що апроксимація калібрувальної характеристики та визначення невизначеності тоді стають відносно нескладними процесами. В стандарті такі процедури прописано та наведено приклади застосування відповідних правил.

Процедури, які застосовують для отримання калібрувальних характеристик, які за отриманими даними калібрування описуються поліномом квадратичного, кубічного або більше високого ступеня нелінійності при застосуванні методу найменших квадратів, і оцінення невизначеності, яка пов'язані з цими калібруваннями, описано у ДСТУ ISO 7066-2:2007. Ці процедури застосовують тільки при використанні поліномів, які описуються цілими числами.

Так як взагалі реалізувати цей тип апроксимації характеристики і оцінки невизначеності без застосування комп'ютера неможливо, то в цьому стандарті запропоновано те, до чого користувач має доступ – стандартні програми обчислення, доступні для більшості комп'ютерів.

Якщо неможливо застосувати пряму лінію, то необхідно визначити ступінь і коефіцієнти полінома, які найкраще представити послідовністю  $n$  пар  $(x_i, y_i)$  значень даних, отриманих під час калібрування:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x + \dots + b_jx^j + \dots + b_mx^m \text{ або } \hat{y} = \sum_{j=0}^m b_jx^j. \quad (2)$$

Застосовуючи критерій найменших квадратів, обчислюють коефіцієнти  $b_j$ , щоб мінімізувати суми квадратів відхилів точок даних від характеристики:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \rightarrow \min \quad (3)$$

де  $\hat{y}_i$  - значення, розраховане з формули (2) за  $x = x_i$

Ступінь апроксимації необхідно вибирати збільшуючи його до тих пір, поки не буде досягнуто оптимального, який визначають спробами збільшення значення ступеня  $m$  до певного максимуму або поки не буде відбуватися подальше суттєве удосконалення характеристики.

В стандарті приведено ряд методик оброблення результатів калібрування ЗВТ витрати, якщо збільшення ступеню апроксимації не приводить до суттєвого її удосконалення. Зокрема, рекомендується розбити діапазон на ділянки (ДСТУ ISO/TR 7066-1), у яких спостерігається лінійність, або в яких можна застосувати поліном більш низького ступеня.

У випадку, коли для вимірювання витрати застосовують відкалібрований пристрій, будь-яка невизначеність у положенні калібрувальної характеристики буде зміщена до розрахункового значення як систематична похибка. Природно, крім випадку, коли нахил характеристики є фактично нульовим. У такому випадку невизначеність витрати завжди буде більшою, ніж за даною калібрувальною характеристикою. Це буде так, навіть коли умови вимірювання номінально ідентичні до тих, які забезпечуються протягом всього процесу калібрування – розходження виникає через невизначеність у розташуванні місця, що використовується на графіку калібрування.

Цю додаткову невизначеність, разом з будь-якими доданими внесками, які є результатом отримання і приведення даних, треба оцінити, застосовуючи процедури, наведені в ДСТУ ISO 5168, з випадковою невизначеністю та границями систематичної похибки, які визначають окремо та пізніше підсумовують встановленим чином.

На при кінці треба визначити, що основними перевагами стандартів ДСТУ ISO/TR 7066-1 і ДСТУ ISO 7066-2 є те, що в них чітко прописано процедури оціненні невизначеності під час калібрування та застосування ЗВТ витрати. При цьому, процес оцінення невизначеності вважають повним, якщо всі джерела похибки були визначені та оцінені і однократні вимірювання об'єднані, щоб дати повну оцінку випадкової похибки та границь систематичних похибок кожної змінної. Крім того методики, які рекомендовані у цих стандартах, гармонізовані з європейськими і їх кваліфіковане застосування є гарантією легітимності результатів калібрування різних ЗВТ витрати

Р.В. Городняк, асистент

## ОПТИМІЗАЦІЯ ЧИСЛА ФАКТОРІВ МЕТОДОМ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ПЛАНОВАНОМУ ЕКСПЕРИМЕНТІ

Ключові слова: однорідність змішування, вакуумметричний тиск, дисковий дозатор-змішувач, рівняння регресії, теорія розмірностей, безрозмірний фактор, планований експеримент.

В теорії планування експеримента найбільш важливим є вибір параметрів процесу. Прийняті параметри повинні відображати всі основні ефекти технологічного процесу, а їх число повинно бути мінімальним. На основі аналізу конструкційних особливостей дозаторів-змішувачів і враховуючи дослідження робочого процесу [1-4] та власні дослідження [5], прийшли до висновку, що за конструкційно-технологічними параметрами технологічного процесу змішування сипучих компонентів комбікормів запишемо у загальному вигляді залежність однорідності від визначальних параметрів

$$v_{zm} = f(\omega, g, R_p, R_D, \alpha, m_l, \rho_{10}, \mu_{10}, Q, p); \quad (1)$$

де  $\omega$  – кутова частота обертання дозуючо-змішувального диска,  $c^{-1}$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $m/c^2$ ;  $R_p$  – радіус кривизни лопатки, м;  $R_D$  – радіус диска, м;  $\alpha$  – кут нахилу твірної диска, град;  $m_l$  – кількість лопаток на диску, шт.;  $\rho_{10}$  – густина сипучого матеріалу,  $kg/m^3$ ;  $\mu_{10}$  – динамічна в'язкість потоку сипучого матеріалу,  $kg/(m \cdot c)$ ;  $Q$  – продуктивність компоненту, що вводиться,  $kg/c$ ;  $p$  – розрідження (вакуумметричний тиск) в камері змішування компонентів,  $kg/m^2$ .

Всі виділені параметри мають фізичний зміст і є керованими в ході експерименту, відповідають вимогам сумісності і незалежності. Теорія подібності і розмірності є проміжною ланкою між теорією і експериментом, що спрощує і полегшує проведення експерименту і забезпечує функціональний зв'язок між цілими комплексами величин [6-9].

Розмірність факторного простору залежить від числа факторів, тому для спрощення задачі скористаємося методами теорії розмірності, а саме  $\pi$ -теореми. Суть цієї теореми полягає в наступному, що вся сукупність факторів може бути згрупована в безрозмірні критерії подібності  $\Pi_1, \Pi_2$ , і т.д. Для знаходження цих величин вибираємо основні одиниці вимірювання і через них виразимо розмірність всіх інших величин. В даному випадку  $n=10$  величин отримаємо  $n - r = 7$  критеріїв подібності. Вибрані критерії знаходяться в визначеній залежності.

В якості основних одиниць були прийняті одиниці розмірності довжина, маса, час (табл. 1).

Таблиця 1 - Розмірність параметрів змішувача мікрокомпонентів кормової суміші

Параметри	$v_{zm}$	$\omega$	$g$	$R_p$	$R_D$	$\alpha$	$m_l$	$\rho_{10}$	$\mu_{10}$	$Q$	$P_g$
$M$	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
$L$	0	0	1	1	1	0	0	-3	-1	0	-2
$T$	0	-1	-2	0	0	0	0	-	-1	1	0

З табл. 1 вибираємо основні одиниці вимірювання для нашого технологічного процесу. В якості основних параметрів взяли  $\omega, \rho_{10}, p$ . Правильність вибору параметрів підтверджує визначник, що складається з розмірності цих параметрів, які не повинні дорівнювати нулю:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \omega & \rho_{10} & p \\ M & 0 & 1 & 1 \\ L & 0 & -3 & -2 \\ T & -1 & 0 & 0 \end{vmatrix} = -1 \neq 0$$

З врахуванням вибору основних одиниць рівняння (1) можна записати у вигляді:

$$v_{zm} = \Phi(1; g/(\omega^{\beta g} \rho^{\gamma g} p^{\lambda g}); R_p/(\omega^{\beta h} \rho^{\gamma h} p^{\lambda h}); R_D/(\omega^{\beta d} \rho^{\gamma d} p^{\lambda d}); \mu_{10}/(\omega^{\beta \mu} \rho^{\gamma \mu} p^{\lambda \mu})). \quad (2)$$

Значення коефіцієнтів  $\beta g, \gamma h, \dots, \lambda \mu$  визначаються з умови, що кожен комплекс є безрозмірною величиною. Значення  $\beta g, \gamma g, \mu g$  визначаємо так:

$$g/(\omega^{\beta g} \rho^{\gamma g} p^{\lambda g}) = L^1 \cdot T^{-2} / [T^{-1}]^{\beta g} [M^1 \cdot L^{-3}]^{\gamma g} [M^1 \cdot L^{-2}]^{\lambda g} = T^{-2+\beta g} \cdot M^{-\gamma g-\lambda g} \cdot L^{1+3\gamma g+2\lambda g} = 1;$$

$$-2 + \beta g = 0, \text{ звідки } \beta g = 2; \quad -\gamma g - \lambda g = 0, \text{ звідки } \gamma g = -1; \quad 1 + 3\gamma g + 2\lambda g = 0, \text{ звідки } \lambda g = 1.$$

Відповідно, критерії подібності визначаються відношенням:

$$\Pi_g = \omega^2 \cdot p / g \cdot \rho_{10}. \quad (3)$$

$$\Pi_{R_p} = \frac{R_p p}{\rho_{10}}; \quad \Pi_{R_D} = \frac{R_D p}{\rho_{10}}; \quad \Pi_{\mu} = \frac{\mu_{10} p^2 \omega}{\rho_{10}}. \quad (4)$$

Враховуючи одержані критерії (3) і (4) рівняння (1) можна записати в наступному вигляді:

$$v_{зм} = \Phi(\Pi_g, \Pi_h, \Pi_d, \Pi_\mu, \alpha, m_n) \quad (5)$$

Добуток критеріїв (3) і (4), або ділення їх дають нові критерії, користуючись цим правилом, одержимо:  $\Pi_h : \Pi_d = R_\rho / R_D$ ,  $Q : \Pi_\mu \cdot \Pi_g = Q \cdot w / \mu_{10} p g$ .

Після перетворень одержимо нове критеріальне рівняння:  $v_{зм} = \Phi(Q \cdot w / \mu_{10} p g; R_\rho / R_D; \alpha; m_n)$ , де  $Q \cdot w / \mu_{10} p g$  – безрозмірний фактор подачі компонента на змішування;  $R_\rho / R_D$  – масштабний фактор;  $\alpha$ ,  $m_n$  – безрозмірні фактори.

Враховуючи що кількість лопаток на диску незмінна, фактор  $m_n$  при проведенні експерименту не враховуємо. Динамічна в'язкість потоку при вакуумметричному тиску 0-6 кПа є постійною.

При атмосферному тиску  $P_B = 0$ , ділення на 0 в безрозмірного фактора дає нескінченність. Тому введемо замість вакуумметричного тиску коефіцієнт, який розраховуємо як  $K_p = p_{абс} / p_{атм}$ , де  $P_{атм}$  – атмосферний тиск, кПа;  $P_{абс}$  – абсолютний тиск в камері змішування,  $P_{абс} = P_{атм} - P_\epsilon$

Відповідно при атмосферному тиску  $K_p = 1,0$ , при  $P_\epsilon = 3$  кПа,  $K_p = 0,97$ , при  $P_\epsilon = 6$  кПа,  $K_p = 0,94$ .

Одержані критерії подібності за своїм фізичним змістом є:  $Q \cdot w / K_p \cdot g$  – аналог імпульсу кінетичної енергії частинки сипучого матеріалу, що вводиться;  $R_\rho / R_D$  – масштабний фактор;  $\alpha$  – кут твірної диска, безрозмірний фактор.

В якості основного компоненту використовували подрібнений ячмінь (модуль подрібнення 3,5 мм), а компоненту, що вводиться – мука кукурудзяна (модуль подрібнення 1,2 мм). Для комбікорму К-58 подрібнений ячмінь складає в межах 18 %, а мука кукурудзяна -10%. Рівні варіювання факторів приведені в табл. 2.

Таблиця 2 - Рівні факторів і інтервали варіювання

Назва фактора	Кодове значення	Інтервал варіювання	Рівні		
			-1	0	+1
Аналог імпульсу кінетичної енергії, $Q \cdot w / K_p \cdot g$ , кг/м	$x_1$	0,00587	0,00106	0,00693	0,0128
Масштабний фактор, $R_\rho / R_D$	$x_2$	0,4	0,6	1,0	1,4
Кут твірної диска дозатора-змішувача, $\alpha$ , град.	$x_3$	10	0	10	20

Список літературних джерел:

1. Бойко И. Г. Исследование движения частицы сыпучего корма по поверхности подающего конуса ротационного дозатора / И.Г. Бойко, О.А. Попов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка “Сучасні проблеми удосконалення технічних систем і технологій в тваринництві”. - 2010, Вып. 95. – Харків: ХНТУСГ. – С. 72-77.

2. Семенцов В.И. Методика и результаты исследований скорости схода частицы с диска центробежного смесителя / В.И. Семенцов, И.Г. Бойко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка “Технічні системи і технології тваринництва”. -2015, Вып. 157. – Харків: ХНТУСГ. – С. 52-56.

3. Batluk V. Mathematical model for motion of weighted parts in curled flow / Batluk V., Basov M., Klymets V. // Econtechmod. An International Quarterly Journal. – 2013, Vol. 2, № 3. – С. 17–24

4. Банга В. Теоретичні дослідження індивідуального раздавача-дозатора комбікормів / В. Банга, В. Дмитрів // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2007, № 76(99). – С. 115-118.

5. Дмитрів В.Т. Аналитическая модель движения частицы по поверхности конуса дискового ротационного дозатора-смесителя дисперсных материалов / В.Т. Дмитрів, Р.В. Городняк // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin-Rzeszow, 2015. - Vol.17, № 9. - P. 79-82.

6. Седов П.М. Методы подобия и размерности в механике / Седов Л. И. - 8-е изд., перераб. – М.: Наука, 1977. - 440 с.

7. Бродский В.З. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей: справочное издание / В.З. Бродский, Л.И. Бродский, Г.И. Голикова.– М.: Металлургия, 1982.–752 с.

8. Грачев Ю.П. Математические методы планирования экспериментов: учебное пособие / Ю.П. Грачев. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 520 с.

9. Гусейнов Ф.Г. Планирование эксперимента в задачах электроэнергетики: учебное пособие / Ф.Г. Гусейнов, О.С. Мамедяров. – М.: Энергоматиздат, 1988. – 151 с.

І.В. Дмитрів, к.т.н.

**АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ**

Ключові слова: паливна апаратура, форсунка, діаметр плунжера, індикаторна діаграма, інтенсивність впорскування, тиск палива, тривалість наповнення.

Сьогодні при розробленні нових конструкцій двигунів внутрішнього згоряння та систем подачі палива є загальна тенденція підвищення економії палива і потужності двигуна з одночасним зменшенням його маси за рахунок безпосереднього впорскування палива. Одночасно актуальним залишається питання зменшення токсичності відпрацьованих газів.

Законодавство з обмеження шкідливих викидів відпрацьованих газів Euro 6С, що готується до прийняття в країнах ЄС, сприяє розвитку систем безпосереднього впорскування палива. Зниження витрати палива є основним фактором підвищення ефективності процесу згорання суміші. Паливні системи з вищим тиском демонструють ефективніше розпилення палива, що підвищує ефективність процесу згорання [1, 2]. Безпосереднє впорскування палива уможливує підвищення економічної ефективності витрати палива на одиницю пробігу технічного засобу.

Структурна схема системи безпосереднього впорскування палива приведена на рис. 1.

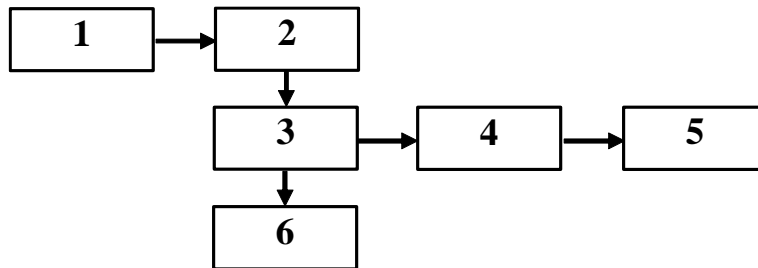


Рисунок 1 - Структурна схема системи безпосереднього впорскування палива: 1 – паливний бак (система низького тиску); 2 – паливний насос високого тиску (ПНВТ); 3 – паливна рейка високого тиску; 4 – інтерфейс форсунки; 5 – форсунка високого тиску; 6 – датчик тиску

Високий тиск в паливній системі створюється ПНВТ. Необхідно приділити особливу увагу компонентам насоса, які відповідають за контур високого тиску системи. Величина тиску з якою подається паливо в паливну рейку високого тиску, залежить від діаметра плунжера і тиску в камері насоса. Спостерігається лінійна залежність між збільшенням тиску в камері насоса і тиском подачі палива. На рис. 2 приведені результати моделювання зусилля що створює насосна камера в функції від тиску палива і діаметра плунжера.

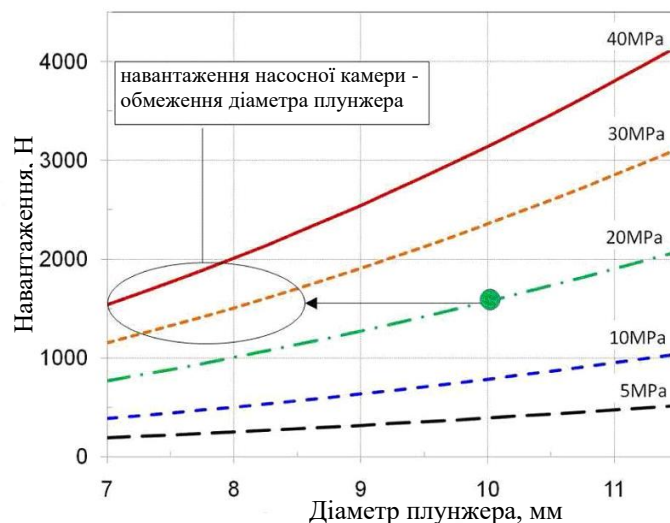


Рисунок 2 - Залежність зусилля що створює насосна камера від діаметра плунжера при заданому тиску палива

Збільшення тиску в системі призводить до підвищення структурних навантажень на паливну форсунку. Однак ефект від підвищення тиску впорскування палива ґрунтується збільшенні інтенсивності впорскування палива і зменшенні тривалості відкриття клапанів форсунки.

На рис. 3 приведена індикаторна діаграма збільшення тиску впорскування з 20 до 40 МПа.

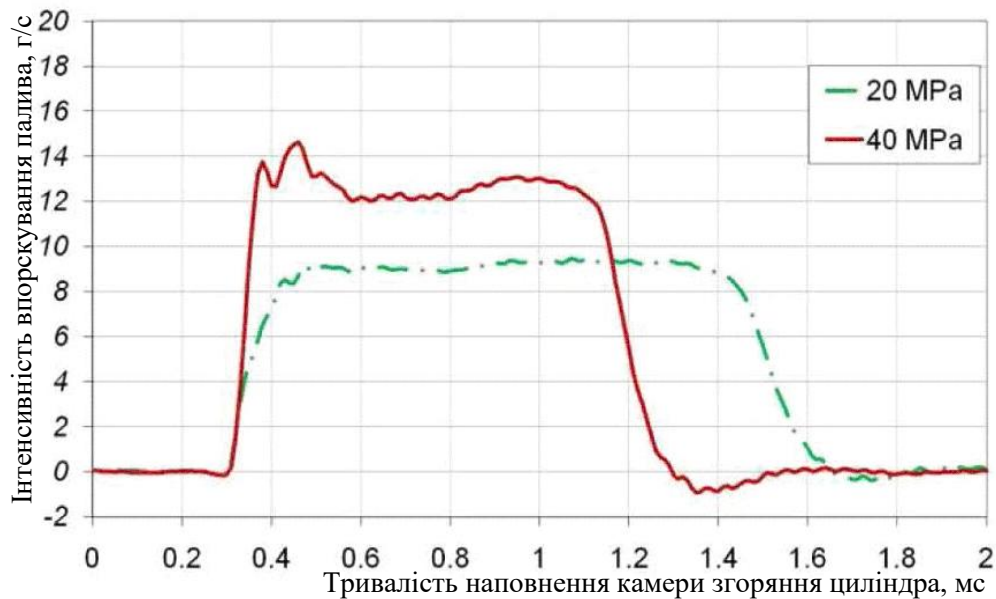


Рисунок 3 - Залежність тривалості наповнення камери згоряння циліндра від інтенсивності впорскування при заданому тиску паливної системи

Аналіз індикаторної діаграми показує, що збільшення тиску в паливній системі призводить до збільшення інтенсивності впорскування палива і зменшення тривалості наповнення камери згоряння однаковою кількістю палива.

Збільшення тиску в системі веде до підвищення структурних навантажень на паливну форсунку, тому необхідно проводити циклічні дослідження з метою вибору оптимальних конструкційно-технологічних параметрів самої форсунки, а також дослідити вплив умов монтажу на ефективні навантаження форсунки.

Список літературних джерел:

1. Nauwerck, A., Pfeil, J., Velji, A., Spicher, U. et al., "A Basic Experimental Study of Gasoline Direct Injection at Significantly High Injection Pressures," SAE Technical Paper 2005-01-0098, 2005, doi:10.4271/2005-01-0098.

2. Herweg R., Haase D., Dieler T., Berndt F., Rottenkolber G.: "Lean Burn Combustion for Gasoline Engines: Potential of High Frequency Ignition and High Pressure Injection," 13th Stuttgart International Conference Automotive and Engine Technology, 2013

**О.В. Малик, к.т.н.; М.С. Міхалєва, к.т.н., доцент; П.Г. Столярчук, д.т.н., професор**

## КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ МОЛОКА ЗА АМПЛІТУДНО – ЧАСТОТНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Ключові слова: контроль молока, молочний жир, амплітудно – частотна характеристика, фальсифікація молока, натуральність.

Молочна промисловість займає одне з провідних місць в агропромисловому комплексі України. Широкий асортимент молочної продукції вимагає удосконалення контрольних заходів забезпечення її якості. На споживчому ринку існують безліч фальсифікатів молока [1]. Тому, все більш важливим стає моніторинг молочної сировини та необхідність постійно контролювати показники якості та безпечності молока протягом усього його життєвого циклу.

Для оцінювання параметрів якості молока існує значна кількість лабораторних методів. Національні нормативні документи регламентують стандартні фізико – хімічні методи дослідження молока. Ці методи мають високу вартість, є трудомісткими та складними у виконанні та вимагають попередньої ідентифікації сировини невідомого походження тощо.

Серед сучасних наукових досліджень особливу увагу привертають ті, які присвячені розвитку методів, що базуються на дослідженнях електричних властивостей речовин. Такі методи дають можливість автоматизувати моніторинг якості та безпечності молочної сировини, контролювати дотримання норм в процесі виробництва та безпосередньо готову молочну продукцію [2-4]. Тому для спрощення, здешевлення процесу контролю, розширення інформативності про досліджуваній об'єкт, актуальним є застосування нового електричного методу для швидкого визначення параметрів якості молока та розроблення методик з використанням даного експрес-методу.

Вимірювання неелектричних величин (рідин) електричними методами дає можливість для безперервного вимірювання з високою точністю та чутливістю [5]. Метою проведених досліджень є розроблення технічно простих та недорогих, оперативних методів, використовуючи характеристики електричних властивостей молока для визначення їх стандартних характеристик якості.

Об'єктом даних досліджень є процес контролю якості молока. Визначення параметрів молока електричним методом відбувається при вимірюванні електричних характеристик сенсора, який заповнений досліджуваним зразком молока, у електричному полі змінної частоти та подальшого опрацювання отриманих результатів. Тобто за залежностями параметрів сенсора із досліджуваним молоком під дією електричних коливань високої частоти, визначають характеристики якості досліджуваних зразків молока. Схема розробленого плоскопаралельного емнісного сенсора може бути представлена у вигляді еквівалентної електричної схеми (рис. 1).

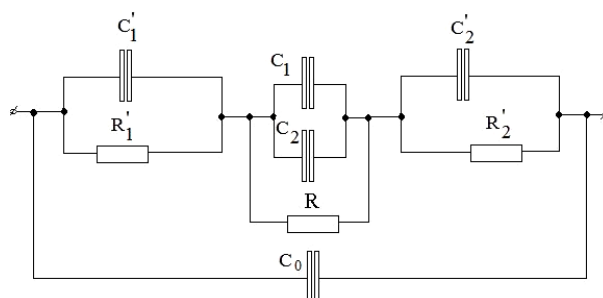


Рис. 1. - Електрична еквівалентна схема заміщення перетворювача з молоком

Де  $R_1', R_2', C_1', C_2'$  - приелектродні параметри;  $R$  - опір зразка молока;  $C_0$  - ємність, зумовлена з'єднувальними провідниками від сенсора до вторинної апаратури;  $C_1, C_2$  - відповідно еквівалентна ємність перетворювача для повітря і для молока. Так як, дослідження проводилися на високих частотах, то впливом приелектродних параметрів можна знехтувати. Тоді еквівалентні ємності можна подати у вигляді:

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0(a-h)b}{d}, \quad (1)$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 hb}{d}, \quad (2)$$

де,  $\varepsilon_0$  - діелектрична стала,  $\varepsilon$  - діелектрична проникність молока,  $d$  - відстань між пластинами перетворювача,  $h$  - висота рідинної частини перетворювача,  $a, b$  - геометричні розміри електродів – висота і ширина, відповідно.

Враховуючи формули (1-2), ємність комірки можна записати:

$$C = C_0 + \frac{\varepsilon_0(a-h)b}{d} + \frac{\varepsilon\varepsilon_0 hb}{d}. \quad (3)$$

Процеси, що відбуваються в молоці в електричному полі визначаються комплексною діелектричною проникністю:

$$\varepsilon^* = \varepsilon' - j\varepsilon'' = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon - \varepsilon_\infty}{1 + j\omega\tau}, \quad (4)$$

де  $\varepsilon_\infty$  - діелектрична проникність, виміряна при високій частоті;  $\tau$  - час релаксації.

Виділивши з виразу (4) окремо дійсну та уявну частини, отримаємо їхні залежності від частоти:

$$\varepsilon' = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon - \varepsilon_\infty}{1 + \omega^2\tau^2}, \quad (5)$$

$$\varepsilon'' = \frac{(\varepsilon - \varepsilon_\infty)\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2}. \quad (6)$$

У зв'язку з тим, що молоко є багатокомпонентна суміш, що складається з молекул різної хімічної природи, які мають різний час релаксації в змінному електромагнітному полі, то  $\varepsilon'$  і  $\varepsilon''$  для сукупності вимірювань можна подати у вигляді формул:

$$\varepsilon' = \varepsilon_\infty + (\varepsilon - \varepsilon_\infty) \int_0^\infty \frac{p(\tau)d\tau}{1 + (\omega\tau)^2}, \quad (7)$$

$$\varepsilon'' = (\varepsilon - \varepsilon_\infty) \int_0^\infty \frac{\omega\tau p(\tau)d\tau}{1 + (\omega\tau)^2}, \quad (8)$$

де  $p(\tau)$  – відносна імовірність того, що час релаксації рівний  $\tau$ . З формул (7-8) бачимо, що як активна, так і реактивна складові комплексної діелектричної проникності залежать від частоти. Тим теоретично аргументується отримання додаткової інформації про склад молока при дослідженнях його в електромагнітному полі різної частоти.

Аналіз отриманих результатів досліджень молока показує [6], що у певному діапазоні частот відбувається максимальна зміна амплітуди сигналу перетворювача для молока зі зміною у ньому кількості молочного жиру. Отримана під час досліджень амплітудно – частотна характеристика (АЧХ) дозволяє розрізнити молоко різних сільськогосподарських тварин (ідентифікація); визначити кількість молочного жиру та присутність недозволених домішок.

На базі отриманих теоретичних та експериментальних досліджень наукових фактів розроблено методику для контролю якості молока. Послідовність методики аналізування якості



молока показано на рис. 2. Електричні характеристики молока досліджуються за АЧХ сигналу, що пройшов через сенсор з досліджуваним зразком молока. Як випробувальний сигнал використовується гармонічний синусоїдний сигнал, частота якого змінюється від (2-10) МГц.

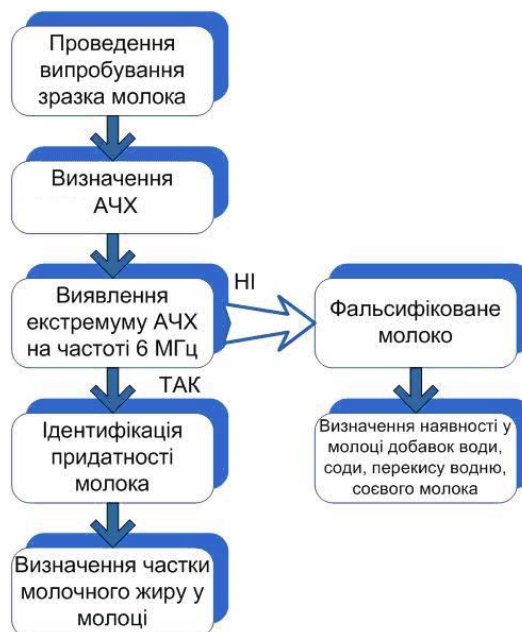


Рис. 2. - Алгоритм ідентифікації і виявлення фальсифікацій молока

Суть методу контролю якості молока полягає в наступному, якщо виявлений екстремум на частоті 6 МГц, то при порівняння з еталонним значенням амплітуди сигналу визначають жирність молока. Якщо ж екстремум на частоті 6 МГц відсутній, то молоко ідентифікується як непридатне або фальсифіковане. При порівняння форм кривих залежностей відбувається процес ідентифікації молока та вміст домішок.

Дослідження показали, що електричні властивості молока залежать від складових молока. Використання визначених АЧХ дає можливість отримати інформацію про натуральність молока, вміст жиру. Поняття натуральність, ми вважаємо, це - повна відповідність складу еталонному виду продукції. Впровадження розробленого методу для оперативного контролю параметрів якості та безпечності молока дозволить економити матеріальні ресурси та автоматизувати процес контролю характеристик молока.

Список літературних джерел:

1. В Україні фальшується 20-25% молочної продукції [Електронний ресурс]: – Режим доступу.:<http://vcourse.ua/ua/business/falsificiruetysya-20-25-molochnoy-produkcii-ekspert.html>.
2. Молоко коров'яче питне. Загальні технічні умови. ДСТУ 2661:2010. - [Чинний від 11.10.2010] – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 14 с.
3. Крусъ Г.Н. Методы исследования молока и молочных продуктов / Г.Н. Крусъ, А.М. Шальгина, З.В. Волокитина / Под общ. редакцией А.М. Шальгиной. – М.: Колос, 2000. – 368 с.: ил.
4. Инихов Г.С. Методы анализа молока и молочных продуктов / Г.С. Инихов, Н.П. Брио. – Москва: Издательство «Пищевая промышленность», 1971. – 423 с.
5. Головка Д.Б. Методи і засоби частотно – дисперсійного аналізу речовин та матеріалів: Фізичні основи / Д.Б. Головка, Ю.О. Скрипник. – К.: ФАДА, ЛТД, 2000. – 200 с.: іл.
6. Малик. О.В. Контроль молока за електричними параметрами / О.В. Малик, П.Г. Столярчук // Проблеми розвитку та впровадження систем управління, стандартизації, сертифікації, метрології в регіонах України: III Всеукраїнська наук. – практ. і студ. конф., 8 – 11 квітня, 2013.: матеріали. – Д., 2013. - С. 170 – 175.

М.А. Філінюк, д.т.н., проф.; О.О. Лазарєв, к.т.н., доц.; Д.В. Бондарюк, аспірант; А.С. Поліщук, магістр

## ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОЧАСТОТНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ НАПІВАКТИВНИХ СЕНСОРІВ

Ключові слова: радіочастотний сенсор, RFID, негatronіка.

Невід'ємною частиною радіочастотної системи живлення напівактивних сенсорів є схема помноження напруги, тому основним завданням є обрати оптимальний варіант схеми помноження напруги з мінімальною кількістю елементів. Основними критеріями порівняння схем обрано: коефіцієнт помноження напруги, коефіцієнт пульсації напруги на виході, коефіцієнт корисної дії (ККД), а також кількість елементів у схемі (рис. 1) [1].

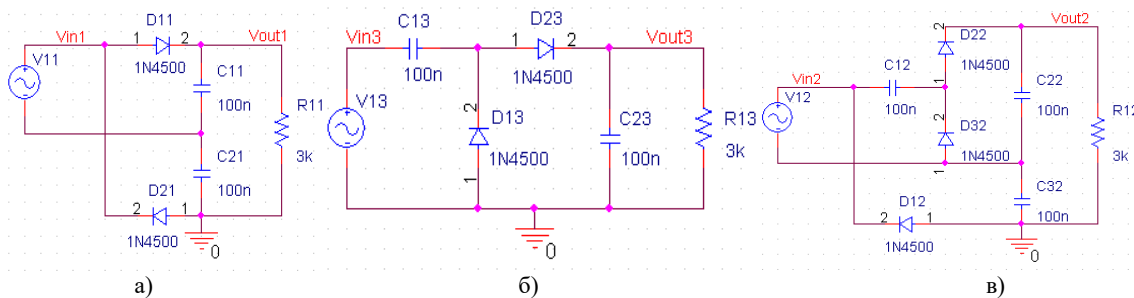


Рис. 1 – Схема електрична принципова подвоювача Латура (а), подвоювача Шенкеля (б), потроювача напруги (в)

На рис. 2, 3 наведені результати моделювання для трьох досліджуваних схем.

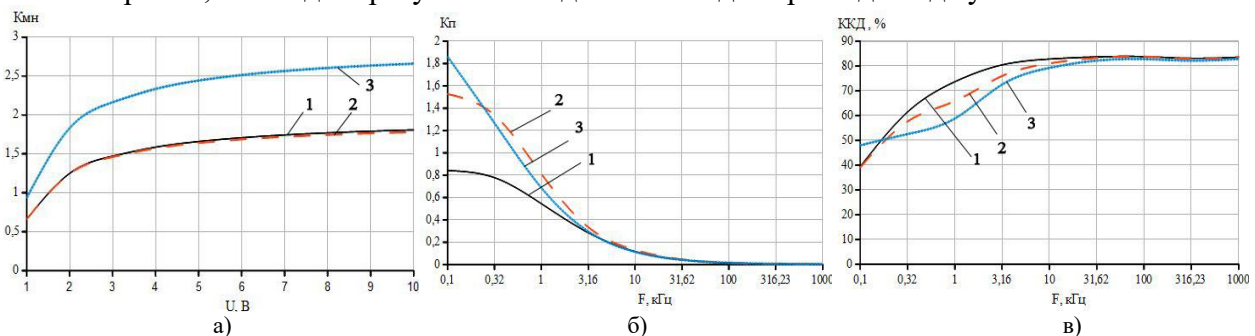


Рис. 2 – Залежність коефіцієнта помноження від амплітуди сигналу (а), залежність коефіцієнта пульсації від частоти (б), залежність ККД від частоти (в); 1 – схема Латура, 2 – схема Шенкеля, 3 – схема потроювача напруги

З рис. 2а видно, що із зменшенням амплітуди сигналу, коефіцієнт помноження зменшується, що пов'язано з втратами частини напруги на відкритих діодах. Коефіцієнт помноження схеми Латура кращий за схему Шенкеля. З рис. 2б видно, що зниження коефіцієнта пульсації з ростом частоти можна пояснити тим, що конденсатори виступають в даній схемі в ролі фільтра. Чим вище частота, тим менший опір має конденсатор і тим краще він шунтує навантаження за змінним струмом. Найнижчий коефіцієнт пульсації має схема Латура. З рис. 2в видно, що ККД зростає при збільшенні частоти вхідного сигналу. Найвищий ККД (особливо на низьких частотах) з представлених помножувачів має схема Латура.

Висновки. Схема Латура показала порівняно високу стійкість коефіцієнта помноження до зміни амплітуди і частоти вхідного сигналу, а також опору навантаження. Це частково пояснюється відсутністю конденсатора між входом і виходом помножувача. Вона має порівняно низький рівень пульсації на виході і порівняно високий ККД, відповідно схема Латура краще за схему Шенкеля, і за кількістю елементів в схемі.

Список літературних джерел:

[1] Ровдо А.А. Полупроводниковые диоды и схемы с диодами / А.А.Ровдо – М.: Лайт Лтд., 2000. – 288 с.

**Р. І. Байцар, д. т. н., проф.; Ю. М. Кордіяка, аспірант**

## **УЛЬТРАФІОЛЕТОВІ ФІЛЬТРИ У КОСМЕТИЧНІЙ ПРОДУКЦІЇ**

Ключові слова: ультрафіолетове випромінювання, УФ-фільтри, косметична продукція, шампуні, захист, фотостабільність, ефективність, безпека.

Жодна людина не може уявити своє буденне життя без засобів особистої гігієни та певних видів косметичної продукції. Саме шампуні займають вагоме місце серед продуктів косметичної промисловості. Їх асортимент підлягає широкій класифікації та охоплює велике коло споживачів. На перших етапах свого розвитку вони відносилися виключно до засобу гігієни, та надалі ринок зажадав наявності додаткових функцій: м'якого догляду, відсутності подразливих властивостей, наявності біологічно активних, функціональних та естетичних добавок, зняття статичної електрики з волосся, захисту від ультрафіолетового випромінювання. Саме захист від шкідливого впливу сонячних променів є надзвичайно актуальним, оскільки під їх впливом руйнуються анімокислоти, що входять до складу кератину, що підтримує здоровий вигляд волосся [1]. Зменшення озонового шару призводить до збільшення інтенсивності ультрафіолетового випромінювання, яке зумовлює сильний стрес шкіри та всього організму. Сонцезахисний засіб – це косметичний препарат у вигляді крему, лосьйону, масла, помади для губ тощо, до складу якого входить один або декілька ультрафіолетових фільтрів. З недавнього часу для покращення ефективності косметичної продукції виробники почали активно вводити в рецептури спеціальні ультрафіолетові фільтри (УФ-фільтри). Широкої популярності набули шампуні з оновленим складом та спеціальні сонцезахисні креми [2].

У косметичній галузі використовують органічні фільтри, котрі є речовинами синтетичного та природного походження. Серед синтетичних найсильнішими є бензофенони, цинамати, саліцилати, камфора і похідні *p*-амінобензойної кислоти. Природні фільтри – це речовини (пігменти), які містяться в рослинах і мають здатність поглинати ультрафіолетове випромінювання: кавава кислота, шкаралупа кісточок плодів мигдалю, персика, грецького горіху, рослинні висівки. Вони є менш ефективними і вводяться до рецептур як допоміжні компоненти і для підвищення комерційного успіху продукту. До фізичних фільтрів відносяться: двооксид титану, оксид цинку, карбонати (кальцію, магнію), силікати (тальк, каолін, бентоніти). Їх вводять до складу декоративних косметичних засобів. Фізичні фільтри не викликають алергію і не подразнюють шкіру, проте можуть надавати їй білий колір [3]. У сучасних сонцезахисних засобах застосовують також комбіновані фільтри через необхідність забезпечити широкий спектр захисту з високою ефективністю при мінімальній концентрації кожного. Проте, потрібно зазначити, що наявність хімічних фільтрів часто підвищує алергенність косметичних засобів. Можливі також і інші негативні наслідки для людського організму та довкілля.

Щороку з'являються інноваційні інгредієнти і технології, що дозволяють удосконалити рецептури і покращити зовнішній вигляд препаратів. В одних країнах сонцезахисні препарати відносять до косметичних засобів, в інших (наприклад, в США) - зараховують до медичних препаратів безрецептурного відпуску [4].

Для оцінювання захисної дії косметичних засобів було введено параметр «фактор захисту від сонця» (Sun Protection Factor, SPF), який до цього часу залишається однією з основних характеристик сонцезахисних препаратів. За визначенням, SPF дає інформацію щодо захисту від почервоніння, що зумовлене дією ультрафіолетових променів типу В (довжина хвилі 290–320 нм). Разом з тим, захист лише від цих променів може спричинити негативні наслідки. Важливо пам'ятати, що ультрафіолетові промені типу В становлять тільки 5–10% від загальної кількості випромінювання, що досягає поверхні Землі, тоді як 90–95% припадає на частку ультрафіолетових променів типу А. Серед сучасних методів, що оцінюють здатність препаратів захищати від ультрафіолетових променів типу А, є методи *in vitro* і *in vivo*.

Одним з найпоширеніших методик для визначення захисних властивостей препарату є стандарт AS/NZS 2604, прийнятий в Австралії і Новій Зеландії. Згідно з процедурою його проведення, вимірюють пропускання хвиль діапазону 320–360 нм крізь шар препарату товщиною 8 мкм або крізь розбавлений розчин препарату відповідної концентрації. Вважають, що препарат є ефективним, якщо його пропускання шкідливого випромінювання складає менше, ніж 10 % [5]. У Європі немає аналогічного стандарту, тому багато європейських виробників використовують австралійський стандарт. Два інші методи *in vitro* ґрунтуються на аналізі спектру поглинання і, на

відміну від австралійського стандарту, є відносними методами. Один з них визначає співвідношення в спектрі поглинання УФ-А/УФ-В, інший — критичну довжину хвилі ( $X_c$ ), при якій поглинання максимальне [5, 6].

В існуючих методиках *in vivo* зазвичай визначається мінімальна фототоксична доза. Використовують безволосих щурів, заздалегідь чутливих до ультрафіолетового випромінювання типу А. Під дією променів у них розвивається запальна реакція, що нагадує індуковану еритему. Цікава методика тестування шкіри *in vitro* розроблена в клініці Едварда Херріота (Франція). Її суть полягає в нанесенні сонцезахисного засобу на тривимірну модель на основі колаген-глюкозаміноглікан-хитозанового матриксу [7]. Такий матрикс заселяється або людськими фібробластами, або фібробластами і кератиноцитами. В останньому випадку кератиноцити, що заселили матрикс, починають розмножуватися і диференціюватися, формуючи справжній епідерміс. Якщо на такий штучний епідерміс діє ультрафіолетове випромінювання, то в ньому розвивається щось на зразок запальної реакції, яку визначають за швидкістю вивільнення білків запалення. Одночасно оцінюється виживання клітин за допомогою спеціальних тестів. Така модель дає можливість досліджувати ефективність та безпеку сонцезахисних засобів. Клінічні дослідження показують, що значна кількість УФ-фільтрів є алергенами і фотосенсибілізаторами під дією ультрафіолетового випромінювання.

Для оцінювання фото стабільності УФ-фільтрів розроблено аналітичний метод хімічного аналізу. Препарат, який тестують, в кількості 2 мкл/см<sup>2</sup> наносять на спеціальне шорстке кварцове скло. Зразок опромінюють в імітаторі сонячного світла. Після опромінення зразок змивають водою і одержаний розчин аналізують за допомогою високоефективної рідинної хроматографії, визначаючи концентрацію індивідуальних фільтрів.

В сучасних косметичних засобах присутні одразу кілька груп УФ-фільтрів. Пояснюється це необхідністю забезпечити достатньо широкий та ефективний спектр захисту при мінімальній концентрації кожного з УФ-фільтрів. Оскільки УФ-фільтри можуть стати причиною подразнення шкіри, вибір їх потрібної комбінації в значній мірі визначає популярність та ефективність косметичного засобу.

В УФ-фільтрах орієнтуватися не просто, оскільки одна і та ж речовина може називатися по-різному в залежності від фірми-виробника.

До недавнього часу вибір фільтрів для косметичної і фармацевтичної промисловості був дуже обмежений. Більше того, деякі фільтри, як відомо, можуть спричинювати небажані шкіряні реакції. Перший і дотепер найпопулярніший УФ-фільтр типу А ВМДВМ має суттєві недоліки, серед яких основний — нестабільність на сонці. При поглинанні кванта світла молекула ВМДВМ переходить у збуджений стан і стає більш реакційною, що призводить до її деградації. Також цей фільтр проявляє властивості несумісності з найпоширенішим фільтром ультрафіолетового випромінювання типу В ОМС [5,8]. У 90-х роках з'явилися нові фільтри, що характеризуються високою фото стабільністю, проте вони захищені патентами і можуть бути в рецептурі косметичних засобів фірми - власника патенту компанії L'Oreal та її підрозділів (La Roche Posay, Vichy, Laboratoires Gamier).

Українські виробники косметичної продукції також починають активно виготовляти косметику, яка захищає від шкідливого впливу сонячних променів. Наприклад, компанія «Біокон» випустила продукцію: «Сонцезахисна серія» — 16 косметичних засобів, серед яких: дитячі засоби після засмаги та сонячних опіків, емульсія для закріплення засмаги, крем-комплекс для засмаги, який моделює фігуру, а також спреї для захисту волосся. Компанія «Ельфа» випускає 13 засобів під маркою «Sun Energy»: гіпоалергенну емульсію для засмаги, олію для засмаги, гіпоалергенний бальзам після засмаги, спреї, крем «Антистрес», крем для автозасмаги, бальзам, який продовжує засмагу, пантенол, бальзами після засмаги, молочко, яке фіксує засмагу, емульсію, яка прискорює засмагу, емульсію з олією, гіпоалергенне молочко після засмаги [9].

Зважаючи на вищесказане, надзвичайно гостро постає питання забезпечення належної якості та безпеки косметичної продукції до складу якої входять УФ-фільтри, а особливо органічні сполуки. Так, як органічні УФ-фільтри дозволяють створювати засоби з фактором захисту до 100 і навіть вище, їх зручно включати у різноманітні косметичні форми – креми, гелі, спреї, лосьйони тощо, просочувати ними одяг, а також додавати в декоративну косметику, шампуні та лаки для волосся. Проте, не всі речовини безпечні для шкіри. Перш за все, органічні УФ-фільтри викликають алергію і подразнення. Крім того, вони можуть проявляти фотореактивність. Це означає, якщо на них достатньо довго світити ультрафіолетом, то вони починають руйнуватися,

виділяючи при цьому вільні радикали, тому після певного часу опромінення в шкірі, "захищеною" такими УФ-фільтрами, буде утворюватися більше вільних радикалів, ніж у незахищеній шкірі. Також підтверджено, що органічні УФ-фільтри можуть забруднювати довкілля, потрапляючи в стічні та природні води [10].

В природних об'єктах та організмі людини органічні УФ-фільтри (наприклад бензофенол) знаходяться в мікро- і нанокількостях, тому може відбуватися їх накопичення. Визначення бензофенонів в косметичних засобах також потребує попередньої підготовки проб для аналізу. Існує багато високоефективних методів пробопідготовки та визначення цих речовин в різних складних матрицях, проте найчастіше використовують газову хроматографію з ПД та МС детекторами, високоефективну рідинну хроматографію з флуоресцентним та маспектрометричним детектуванням [11].

Отже, наголосимо на важливих питаннях, котрі потребують негайного доопрацювання та змістовнішого дослідження на нормативно-технічному та законодавчому рівнях державного значення, враховуючи актуальний стан розвитку косметичної галузі. Оскільки доведено залежність зниження імунітету і канцерогенезу шкіри від дії ультрафіолетового випромінювання типу А та В, розробка методів оцінки імуносупресії і канцерогенного ефекту справді є важливою та викликає велике зацікавлення. На сьогоднішній день клінічні випробування сонцезахисних засобів є перспективним та інформативним напрямом досліджень.

В Україні зовсім не контролюється вміст УФ-фільтрів, зокрема бензофенонів, хоча продукція, в якій містяться дані сполуки активно використовується. Досі не існує офіційного аналітичного методу для аналізу УФ-фільтрів в косметичних засобах, в природних та біологічних об'єктах. Потрібно зазначити, що не приділено належної уваги нормованому значенню кількісного вмісту УФ-фільтрів в косметичній продукції, зокрема шампунях. Чинник внесення до складу косметичної продукції цих хімічних сполук практично не регламентований. Хоч така продукція і активно випускається, проте ефективний нормативно-технічний рівень забезпечення її якості та безпеки не нормований. Актуальним постає питання про встановлення вимог, які повністю відповідатимуть сучасним потребам до косметичної продукції, зменшать кількість неякісних та небезпечних косметичних продуктів, що перебувають в обігу на території України. Без сучасної, надійної нормативної бази технічне регулювання даної галузі та захист прав споживачів є неможливим.

Список літературних джерел:

1. Волосся і сонце [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://missfit.com.ua/krasota/hair/default.ht>.
2. Чим небезпечні сонцезахисні креми [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://megasite.in.ua/10639-chim-nebezpechni-soncezhahisni-kremi.html>.
3. Знайомтесь:УФ-фільтри [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://alls.in.ua/35507-znajomtesya-uf-filtri.html>.
4. Інеса Голояд «Сонцезахисні засоби рятують від опіків і фотодерматиту» (08.07.2009). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://te.20minut.ua/Zdorovya/sontsezhahisni-kremi-ryatyuyut-vid-opikiv-i-fotodermatitu-153283.html> - Назва з екрана.
5. Пешук Л. В., Бавіка Л. І., Демідов І. М. П 31 Технологія парфумерно-косметичних продуктів. — К.: Центр учбової літератури, 2007. — 376 с.
6. Захист від сонця [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://naprikoli.com/zahyst-vid-sontsya.html>.
7. Зайдман А. М., Корель А. В. //Хирургия позвоночника №1, 2004 «Структурно-функциональные особенности пластинки роста тела позвонка в критические периоды роста», – С 113-120.
8. Чим небезпечне сонячне випромінювання [ Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://poradumo.com.ua/40891-chim-nebezpechne-soniachne-viprominuvannia/> .
9. URL: [http://www.elfa.ua/our\\_products\\_are/sezonnje-produkty/](http://www.elfa.ua/our_products_are/sezonnje-produkty/).
10. Левчук В. Зуй М. // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Випуск 1(50) « Методи вилучення, концентрування та визначення бензофенолу та його похідних», - 2014, С. 5-12.
11. Л. С. Пещера, В. В. Манк «Основні методи визначення ефективності сонцезахисних косметичних засобів» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/19872/1/114.pdf>

А.В. Мартынюк, аспирант; Л.Н. Щербак, д.т.н., проф.

## ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМОВ КАК ИНФОРМАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Ключевые слова: шум, информационный сигнал, линейный случайный процесс, компьютерный измерительный эксперимент, статистическая оценка характеристик

Введение. При диагностировании различных объектов в процессе их эксплуатации важную роль играют системы диагностики, источниками информации в которых являются шумовые сигналы, которые возникают в работающих элементах оборудования [1]. Системы шумовой диагностики основаны на измерении и анализе вероятностных характеристик диагностических шумовых сигналов и широко применяются для определения технического состояния объектов.

Однако вопросы анализа реальных физических шумовых процессов тесно связаны с теорией задания случайных функций [2]. Никакая математическая модель не может абсолютно точно отразить физические процессы, происходящие при шумообразовании в реальных физических условиях. Так как изучение свойств распределения реальных шумовых процессов связано с применением сложной аппаратуры и требует значительной затраты времени, в докладе будут рассматриваться измерения характеристик шума в рамках корреляционной теории, а в качестве шума будут использованы стационарные случайные процессы.

Постановка задания. Обоснование модели шума для компьютерного измерительного эксперимента и определение его характеристик в рамках корреляционной теории.

Основные результаты. Из-за усовершенствования технических средств для обработки экспериментальных данных и проведения компьютерных измерительных экспериментов требуется создание новых алгоритмов моделирования случайных шумовых процессов. В работе в качестве конструктивной модели шума предложен линейный случайный процесс с дискретным временем:

$$\xi_k = \sum_{j=0}^N \varphi_{k-j} \eta_j, \quad (1)$$

где  $\{\varphi_j, j \in Z\}$  - ядро или импульсная реакция цифрового линейного фильтра, а  $\{\eta_j, j \in Z\}$  - дискретный белый шум.

Такую модель шумового сигнала в виде линейного случайного процесса можно использовать в качестве создания базы для статистического сравнительного анализа шумов с разными законами распределения.

При проведении компьютерного измерительного эксперимента производится статистическая оценка дисперсии

$$\sigma_{\xi}^2 = D\{\xi_k\} = \sigma_{\eta}^2 \sum_{j=0}^N \varphi_j^2, \quad (2)$$

и корреляции

$$R_k = \sigma_{\eta}^2 \sum_{j=0}^{N-k} \varphi_{j+k} \varphi_j, \quad (3)$$

где  $\sigma_{\eta}^2$  - дисперсия заданного дискретного белого шума.

Кроме этого, используя ортогональный ряд Фурье, проводится статистическая оценка спектральных характеристик шума.

Выводы. В работе обосновывается применение линейного случайного процесса как конструктивной модели шума. Также для сформированного ансамбля реализаций при компьютерном измерительном эксперименте в рамках корреляционной теории определены статистические характеристики шума как информационного сигнала.

Список литературы:

1. Красильников А.И. Модели шумовых сигналов в системах диагностики теплоэнергетического оборудования. – К.: Ин-т технической теплофизики НАН Украина, 2014. – 112 с.
2. Марченко Б.Г. Метод стохастических интегральных представлений и его приложения в радиотехнике. – К.: Наукова думка, 1973. – 192 с.

О.Д. Близнюк, Ю.В. Куц, д.т.н., проф., О.С. Мельник

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СТАТИСТИЧНОЇ ФАЗОМЕТРІЇ В ЗАДАЧАХ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ЛУНА-ІМПУЛЬСНОЇ ТОВЩИНОМЕТРІЇ

Ключові слова: ультразвукова товщинометрія, перетворення Гільберта, кругові статистики, фазова характеристика сигналів

Реалізація луна імпульсної ультразвукової товщинометрії (УЗТ) виробів з композиційних матеріалів супроводжується виникненням завад, зумовлених значною дисперсійністю матеріалу об'єкта контролю (ОК). Це суттєво знижує надійність виявлення і точність визначення часового положення відбитих від дна ОК сигналів. Ефективним способом аналізу сигналів УЗТ на фоні адитивних завад є визначення їх амплітудних, фазових та частотних характеристик з наступним статистичним опрацюванням. Задачею дослідження є удосконалення луна-імпульсного методу УЗТ за рахунок використання статистичного оброблення фазової характеристики сигналів (ФХС) [1].

Зазвичай сигналами УЗТ є імпульсні сигнали з гармонічною несучою частотою  $f$ . Їх ФХС суттєво відрізняється від фазової характеристики реалізації шуму. Ця відмінність покладена в основу методу оброблення сигналів УЗТ, що ілюструє рис.1.

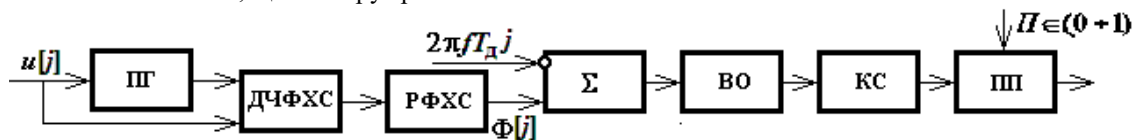


Рис. 1 Структурно-логічна схема реалізації методу УЗТ

Досліджувана реалізація цифрового сигналу  $u[j]$ ,  $j = \overline{1, J}$ , яка уявляє адитивну суміш послідовності донних імпульсів і шуму надходить через перетворювач Гільберта (ПГ) на блок ДЧФХС визначення дробової частини ФХС. Блок РФХС розгорте фазову характеристику сигналу  $\Phi[j]$ . В суматорі  $\Sigma$  відбувається стаціонаризація ФХС на ділянках  $u[j]$  з донними імпульсами шляхом вилучення лінійної складової ФХС (ФХС гармонічного сигналу несучої донних імпульсів). До отриманого результату застосовується віконна обробка (ВО) після чого формуються кругові статистики в блоці КС. Донні імпульси визначаються за перевищенням визначених кругових статистик порогу  $\Pi$  в пороговому пристрої ПП.

Для задачі виявлення донних імпульсних сигналів з гармонічною несучою в якості кругової статистики доцільно використовувати вибіркової кругову дисперсію або результуючу довжину вектора, отримувани для відтворених на одиничному колі значень  $\Delta\Phi[j] = \Phi[j] - 2\pi f T_d j$  (рис.2,а). Процес отримання результуючої довжини вектора для трьох відліків ілюструє рис.2,б.

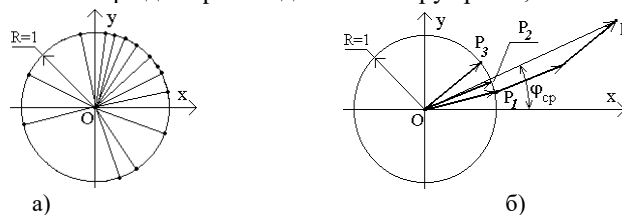


Рис. 2. Графічне зображення значень  $\Delta\Phi[j]$  на колі (а) та отримання результуючої довжини вектора (б)

Використання в якості інформативної ознаки вибіркової результуючої довжини вектора, отриманого для ФХС сигналів УЗТ дозволяє підвищити точність визначення часових затримок на поширення цих сигналів в ОК і товщини ОК, виготовлених з матеріалів зі значним коефіцієнтом загасання, за рахунок статистичного аналізу ФХС УЗТ.

### Список літературних джерел:

1. Патент на корисну модель № 35057 Україна, МПК (2006) G01B 17/02. Спосіб ультразвукового вимірювання товщини виробів / Ю.В. Куц, В.С. Єременко, О.В. Монченко, І.М. Лапіга; заявник та патентовласник Національний авіаційний університет. – № u200805320; заявл. 23.04.2008; опубл. 26.08.2008, Бюл. № 16.



**О.В. Монченко, к.т.н., доц.; Ю.А. Олійник, аспірант; Б.В. Добржанська, асистент**  
**ВИКОРИСТАННЯ ФАЗОМАНІПУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ**  
**ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТОВЩИНИ ВИРОБІВ З КОМПОЗИЦІЙНИХ**  
**МАТЕРІАЛІВ**

Ключові слова: ультразвукова товщинометрія, фазоманіпульований сигнал.

Одним з напрямів подальшого вдосконалення приладів неруйнівного контролю (НК) є використання складних зонduючих сигналів, зокрема з частотною та фазовою модуляцією та маніпуляцією. В роботі запропоновано використання фазової маніпуляції зонduючого сигналу.

В практиці ультразвукової товщинометрії (УЗТ) широко застосовується луна-імпульсний метод. Часова затримка  $\tau$ , як основний вимірювальний параметр, визначається за обвідними донних сигналів. Такий метод вимірювання  $\tau$  чутливий до шумів, завад, властивостей матеріалу і характеризується суттєвими похибками. Для підвищення точності вимірювання  $\tau$  раніше запропоновано спосіб з використанням фазової маніпуляції несучої радіосигналів. В такому випадку значення  $\tau$  оцінюють як інтервал часу між моментами фазової маніпуляції.

Проведені модельні експерименти підтвердили принципіальну можливість реалізації такого способу вимірювання. Метою роботи є проведення експериментів з фазоманіпульованими сигналами в реальних електроакустичних трактах товщиномірів і порівняльний аналіз різних типів п'єзоелектричних перетворювачів (ПЕП) в таких приладах.

Суть запропонованого в [1] методу полягає у формуванні акустичного зонduючого сигналу, введенні його в ОК, прийманні сигналу після його поширення в ОК, визначенні фазових характеристик (ФХ) зонduючого і донного сигналів, обчисленні товщини об'єкту за часом затримки сигналу та відомою швидкістю поширення сигналу, який відрізняється тим, що для формування акустичного зонduючого сигналу використовують фазоманіпульований радіоімпульсний сигнал, а затримка поширення сигналу вимірюється як різниця часових положень стрибків фазових характеристик зонduючого та донного сигналів.

Методику оброблення сигналів ілюструє рис.1.

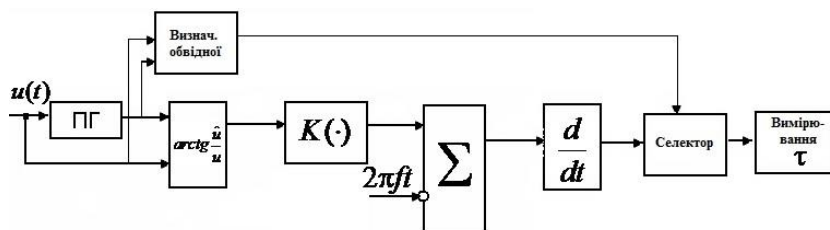


Рис.1. Методика оброблення фазоманіпульованих сигналів УЗТ

Після приймання донного сигналу формується Гільберт-образ (блок ПГ) сигналу, далі визначається його обвідна і дробова частина ФХ, розгортається ФХ сигналу за межі інтервалу  $[-0,5\pi, 0,5\pi]$ , визначається різниця ФХ  $\tilde{\Phi}(t) - 2\pi ft$ , яка диференціюється з метою визначення стрибків ФХ сигналів, після чого відбувається селекція інформативних стрибків за обвідною  $U(t) = \sqrt{u^2(t) + \hat{u}_H^2(t)}$ , і визначається  $\tau$ .

Виконувались експериментальні дослідження на установці, що включала генератор, ПЕП двох типів, ультразвуковий дефектоскоп, персональний комп'ютер та програмне забезпечення.

Проведені експериментальні дослідження довели можливість передачі стрибків фазової характеристики зонduючого сигналу після його поширення в електроакустичному тракті товщиноміра та дозволили тестувати методику подальшого оброблення реальних вимірюваних сигналів, за якою можна проводити прецизійне вимірювання часу затримки ультразвукового сигналу та визначення товщини ОК.

1. Ю.В.Куц, В.Л. Найда, Ю.А. Олійник, О.В. Монченко. Спосіб ультразвукового вимірювання товщини матеріалів та виробів.– Пат. 79972. Бюл.№9, 13.05.2013 МПК (2006.01). Номер заявки: u2012 12606. Дата подання заявки: 05.11.2012.



**В. Ю. Кучерук, д.т.н., М. В. Глушко, студент**

## **ОБРОБКА ВІБРАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСА**

Ключові слова: вібрація, вібраційна інформація, вібросигнал, детермінований хаос, аттрактор, фазовий портрет.

Одним із самих значних наукових відкриттів останніх десятиліть є відкриття детермінованого хаосу в динамічних системах. Суть цього відкриття полягає в тому, що повністю визначена (детермінована) динамічна система, при відсутності будь-яких випадкових впливів на неї, починає вести себе непередбаченим (хаотичним) чином. Проте у цієї непередбачуваності (хаотичності) при більш ретельному розгляді вдається виявити ряд закономірностей у поведінці системи, що відрізняє дане явище від класичних випадкових процесів. Більше того, на відміну від класичних випадкових процесів, явище детермінованого хаосу може бути багаторазово відтворене в натурних і лабораторних експериментах. Найбільш істотним є те, що детермінований хаос не є якимось винятковим режимом поведінки динамічних систем, навпаки, такі режими спостерігаються в дуже багатьох динамічних системах, які розглядаються в математиці, фізиці, хімії, біології, медицині та економіці. Такі детерміновані хаотичні режими інколи є більш типовими режимами, ніж повністю передбачувані (регулярні) режими. Можна сказати, що оточуючий нас матеріальний світ "повністю занурений у хаос" [1,2].

Оскільки вібраційні характеристики є наслідком структурного стану, будь-які зміни структури механізму викликають зміни параметрів вібрації, які є об'єктивними діагностичними ознаками, несучими інформацію про технічний стан обладнання. При цьому необхідно не забувати про існування зворотного зв'язку - підвищення рівня вібрації сприяє прискоренню зносу сполучених деталей, тобто зміні структурного стану.

При моніторингу технічного стану обладнання основним параметром є загальний рівень вібрацій, перевищення яким допустимих меж є сигналом для прийняття відповідних заходів. Проте часто на практиці, не зважаючи на загальний рівень вібрації, в механізмі розвиваються інші дефекти, вплив яких на загальний рівень вібрації спочатку незначний, але через деякий час швидкість розвитку дефекту починає рости, що в кінцевому випадку позначається на рівні вібрації. При цьому досить важко запобігти виникненню аварійної ситуації. Тому виникає необхідність у розробці нових методів аналізу обробки вібраційної інформації, які дозволяють більш якісно оцінювати інформацію. Одним з таких підходів є використання елементів теорії детермінованого хаосу, параметри якого є досить чутливими до зміни інформативних ознак.

При аналізі вібросигналів вважають, що хаотична шумова складова в сигналі є випадковою компонентою. Але дослідження показали, що випадкові коливання вібросигналів мають свою певну періодичність і носять детермінований характер. Вони народжуються самим джерелом вібросигналів і тому можуть використовуватись як джерело інформації про деякі внутрішні характеристики.

Для того, щоб дослідити детерміновано-хаотичну поведінку вібросигналів, потрібно побудувати його фазовий портрет. Найменші зміни в сигналі будуть відображатися в структурі фазового портрету та в його фрактальних розмірностях. Характер дефекту, що розвивається в досліджуваному агрегаті, визначається порівнянням структури фазового портрету вібросигналу із структурними фазових портретів "зразкових" сигналів [3].

Це дозволяє визначити момент зародження будь-якого дефекту на ранній його стадії.

Список літературних джерел:

1. Шустер Г. Детерминированный хаос / Г. Шустер. – М.: Мир, 1990. – 312 с.
2. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение. — М. : Мир, 1988. — 248 с.
3. Кучерук В. Ю., Грабовський О. В., Павловська М. С. Використання теорії детермінованого хаосу при обробленні віброакустичних сигналів / Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. Випуск 1(4), 2014, с. 81-84.

**М. В. Глушко, студент**

## **ТЕПЛОВІЗІЙНЕ ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ – АКТУАЛЬНА ПОТРЕБА В ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ ТА В ДОСЛІДЖЕННІ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ**

Ключові слова: тепловізор, тепловізійне обстеження, теплові втрати, тепловізійна матриця, інфрачервоне випромінювання.

Варто приділити більше уваги актуальному питанню про втрати тепла в житлових, промислових будівлях, зокрема економію витрат енергоресурсів на опалення приміщень. В утеплення будівель вкладають чималі кошти і дуже часто не домагаються бажаного результату. Причина як завжди в деталях і дрібницях. На перший погляд незначні дефекти можуть значно знижувати ефективність виконаних завдань з теплоізоляції. Тому ще до початку утеплення слід провести тепловізійне обстеження, яке допоможе розрахувати необхідні витрати на утеплення.

Одним з кращих приладів для таких досліджень є тепловізор. Застосовується для безконтактного вимірювання температури будь-яких об'єктів. Тепловізори працюють в ІЧ-діапазоні і складаються з об'єктиву, тепловізійної матриці і блоку обробки теплового сигналу. Візуальна інформація забезпечується за рахунок перетворення інфрачервоних сигналів, що надходять від різних теплоносіїв, у відеосигнал, і тут основну функцію бере на себе тепловізійна матриця. Компанією яка придумала і розробила перший тепловізор є FLIR.

Тепловізійним обстеженням виявляються інженерні помилки, дефекти матеріалів, браки після ремонту за допомогою спеціальних приладів тепловізорів. У тепловізійному обстеженні головне завдання перевірити і спрогнозувати стан житлового приміщення і виявити величезну кількість недоліків: в теплоізоляції, опалювальних системах, інженерних конструкціях, електропроводки, встановити причину високої вологості або сухості повітря і інші додаткові завдання.

Тепловізійне обстеження також дозволяє виявити місця теплових втрат, а так само їх ступінь інтенсивності. Це є основною функцією тепловізора. Але існує ще маса супутніх корисних функцій. За допомогою тепловізорного обстеження можна:

1. Проконтролювати роботу пароізоляції. Виявити місця прояви конденсату на внутрішніх поверхнях приміщення. Розрахувати необхідну кількість і підібрати тип утеплювача.
2. Виявити засори опалювальних систем.
3. Сформувані планування раціонального розподілу обігрівальних вузлів опалювальних систем.
4. Виявити місця протікання дахів і труб.
5. Визначити наявність і розмір тріщин у стінах.
6. Визначити неякісну установку віконних і дверних блоків.
7. Проконтролювати герметичність віконних склопакетів.
8. Знайти джерело причини підвищеної вологості або сухості клімату всередині будівлі.
9. Простежити стан електропроводки для усунення слабких контактів, які можуть викликати пожежу при нагріванні від навантажень.
10. Знайти місця проживання гризунів та інших небажаних співмешканців.

Тепловізійний контроль виявляє всі дефекти, що впливають на втрату тепла, проте дане обстеження та ціни на тепловізор є занадто високими, проте кількість таких досліджень суттєво мала. Тому пропонується актуалізувати проведення тепловізійних обстежень промислових та побутових об'єктів за допомогою тепловізора, створеного на базі програмно-апаратних засобів відкритої архітектури та болометричної матриці, що суттєво заощадить кошти, та дозволить підвищити ефективність використання тепловізійного обстеження об'єктів для виявлення причини тепловтрат з метою забезпечення енергоефективності та енергоощадності.

Список літературних джерел:

1. В. В. Коротаев, Г.С. и др. Основы тепловидения – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 122 с.
2. Будадин О.Н., Троицкий-Марков Т.Е. Технология комплексного теплового неразрушающего контроля зданий и строительных сооружений. Контроль. Диагностика 2005. № 3, 48 с.

Ю. Г. Ведміцький, к.т.н.; В. В. Кухарчук, д.т.н., проф.

## ВІБРОКОНТРОЛЬ ГІДРОГЕНЕРАТОРІВ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЛЬНИХ ВІБРОПРИСКОРЕНЬ 1-ГО ТА 2-ГО ПОРЯДКІВ

Ключові слова: віброконтроль, гідрогенератори, віброприскорення, віброшвидкість, віброзміщення, інтегральні віброприскорення 1-го, 2-го та n-го порядків

Вступ. Поточний контроль вібраційного стану гідроагрегатів електричних станцій на сьогодні є одним з ефективних методів забезпечення та підвищення надійності їх роботи як за усталених режимів, так і, головне, під час перехідних процесів [1].

Відомо [1-3], що первісними з-поміж основних параметрів, які якісно та кількісно описують вібраційний стан системи, є віброзміщення, віброшвидкість та віброприскорення. Згідно з чинними стандартами, перший з названих параметрів визначається як вібраційна складова переміщення, інші ж два – як її перша та друга похідні часу, відповідно.

На сьогодні в теорії та практиці проведення віброконтролю на об'єктах гідроенергетики [1, 2] сформувалася і допоки домінує парадигма, яка чітко визначає і регламентує порядок вимірювального перетворення зазначених вібропараметрів. Якщо залишити поза увагою інші, математично пов'язані з ними, фізичні величини (як механічного, так і немеханічного походження), цей порядок стисло може бути представлений спрощеною схемою:

віброприскорення  $\rightarrow$  {віброшвидкість; віброзміщення}.

Водночас всебічний аналіз наведеної схеми дозволяє дійти висновку, що наразі існує можливість її модифікації. Це дозволить помітно зменшити обчислювальне навантаження на первинний трак засобу віброконтролю і відтак гарантуватиме можливість низькоапаратної реалізації цієї процедури.

Для втілення зазначеного необхідно ввести ряд нових позасистемних фізичних величин, які за інформативною здатністю слугуватимуть еквівалентами віброшвидкості та віброзміщенню, але за загальним обсягом обчислювальних, часових та апаратних ресурсів, необхідних для визначення їх значень, – ефективною альтернативою. Така можливість наразі існує.

Нововведені фізичні величини називатимемо *інтегральними віброприскореннями n-го порядку*, де  $n = 0, 1, 2, \dots$ , оскільки вони формуються на основі послідовності відлікових значень дискретизованого за часом віброприскорення. Істотно що, кількість математичних операцій, необхідних для визначення інтегрального віброприскорення n-го порядку на кожному відліку часу буде меншою, аніж це потрібно у разі проведення n кратного інтегрування віброприскорення. Водночас таке віброприскорення за виконання певних умов здатне перебувати у відношенні прямої пропорційності з інтегралом, через що матиме ті ж інформативні властивості, що і сам інтеграл.

Отже, наразі розв'язується задача розробки математичних засад для проведення процедури контролю вібраційного стану гідроагрегатів ГЕС та ГАЕС на основі альтернативних до віброшвидкості та віброзміщення параметрів – інтегральних віброприскорень 1-го і 2-го порядків. Актуальність задачі набуває виняткового значення у разі проведення динамічного виду віброконтролю, коли гідрогенератор перебуває в стані перехідного процесу, наприклад, під час запуску та розгону системи. Варто зазначити, що потреба саме в такому віброконтролі гідрогенераторів на сьогодні є надзвичайною, а сам різновид контролю зазначених об'єктів – малодослідженим.

### 1. Інтегральні віброприскорення 1-го, 2-го та n-го порядків

Вихідною умовою задачі є впорядкована зчислена послідовність  $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$  відлікових значень дискретного у часі сигналу  $a_k = a(t_k)$ , де  $t_k = k \Delta t$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots$ , згенерованого сенсорним акселерометром засобу віброконтролю на основі поточних значень віброприскорення  $a(t)$  об'єкта контролю, починаючи з деякого початкового моменту часу  $t_0$ , наприклад,  $t_0 = 0$ . Змінна  $\Delta t$  – це крок дискретизації, значення якої надалі вважатимемо довільним, але постійним.

Фізичну величину  $\xi^{(n)}$  називатимемо *інтегральним віброприскоренням n-го порядку*, де  $n = 0, 1, 2, \dots$ , якщо її відлікові значення визначатимуться за правилом

$$\xi_k^{(n)} = \sum_{i_1=0}^k \xi_{i_1}^{(n-1)} = \sum_{i_1=0}^k \sum_{i_2=0}^{i_1} \xi_{i_2}^{(n-2)} = \sum_{i_1=0}^k \sum_{i_2=0}^{i_1} \dots \sum_{i_n=0}^{i_{n-1}} a_{i_n}, \quad (1)$$

а впорядкована сукупність цих значень утворюватиме послідовність  $\{\xi_0^{(n)}, \xi_1^{(n)}, \dots, \xi_k^{(n)}, \xi_{k+1}^{(n)}, \dots\}$ .

Відтак рекурсивна формула (1) виявляє себе як оператор бієктивного відображення послідовності  $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$  в послідовність  $\{\xi_0^{(n)}, \xi_1^{(n)}, \dots, \xi_k^{(n)}, \xi_{k+1}^{(n)}, \dots\}$ .

Формула (1) носить узагальнений характер і визначає ряд споріднених фізичних величин тієї ж розмірності, яку має і сама вихідна величина  $a(t)$ .

На підставі формули (1) внаслідок її узагальненості у дедуктивний спосіб неважко отримати інтегральні віброприскорення за конкретних значень  $n = 0, 1, 2, \dots$ .

Для інтегрального віброприскорення 1-го порядку  $\xi^{(1)}$  правилом визначення  $k$ -го відлікового значення, відповідно до формули (1), є оператор

$$\xi_k^{(1)} = \sum_{i_1=0}^k a_{i_1} = a_0 + a_1 + \dots + a_k. \quad (2)$$

Відлікові значення інтегрального віброприскорення 2-го порядку  $\xi^{(2)}$ , згідно з (1), де  $n = 2$ , необхідно розраховувати за формулою

$$\xi_k^{(2)} = \sum_{i_1=0}^k \sum_{i_2=0}^{i_1} a_{i_2} = a_0 + (a_0 + a_1) + \dots + (a_0 + \dots + a_k) = \sum_{i_1=0}^k \xi_{i_1}^{(1)} = \xi_0^{(1)} + \xi_1^{(1)} + \dots + \xi_k^{(1)}. \quad (3)$$

Апаратна організація розрахунку відлікових значень інтегральних віброприскорень є простою.

## 2. Заступні інформативні еквіваленти фізичних величин

Заступними інформативними еквівалентами фізичної величини називатимемо всі інші фізичні величини, відлікові значення яких перебувають в лінійній залежності від відлікових значень оригінала. Тоді для останнього можна записати

$$Y_k = c_1 X_{k-s} + c_2, \quad (4)$$

де  $k = 0, 1, 2, \dots$ ;  $c_1, c_2$  – інваріанти до відлікових значень  $X$ , наприклад, постійні або залежні від часу явно величини,  $s \leq k$  – константа;  $X$  – один із еквівалентів фізичної величини  $Y$ .

Під час проведення процедури контролю заступні інформативні еквіваленти здатні заміщувати оригінали на різних рівнях вторинних перетворень. За певних умов така заміна з точки зору зменшення обчислювальних, часових та апаратних ресурсів може виявитися доцільною.

## 3. Ідентифікація інтегрального віброприскорення 1-го порядку як заступного інформативного еквівалента віброшвидкості

Для знаходження та ідентифікації можливих заступних інформативних еквівалентів віброшвидкості і віброзміщення, побудуємо узагальнені рекурсивні оператори, які розкривають правила взаємно-однозначного відображення послідовності відлікових значень дискретного у часі сигналу віброприскорення  $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$  у послідовності значень віброшвидкості  $\{v_0, v_1, \dots, v_k, v_{k+1}, \dots\}$  та віброзміщення  $\{s_0, s_1, \dots, s_k, s_{k+1}, \dots\}$ , відповідно.

Для віброшвидкості таким оператором є відображення

$$v_{k+1} = v_0 + \Delta t \sum_{i_1=0}^k a_{i_1}. \quad (5)$$

Відповідно до виразу (2), сума в формулі (5) є  $k$ -м відліковим значенням інтегрального віброприскорення 1-го порядку. Тоді вираз (5) набуває вигляду (4)

$$v_{k+1} = \Delta t \xi_k^{(1)} + v_0. \quad (6)$$

Відповідно до (6), за нульового значення  $v_0 = 0$  поміж відліковими значеннями віброшвидкості

та інтегрального віброприскорення 1-го порядку буде сформовано пряму пропорційність

$$v_{k+1} = \Delta t \xi_k^{(1)}. \quad (7)$$

В формулі (7) границями допускового інтервалу слугуватимуть  $\xi_{\min}^{(1)} = \frac{v_{\min}}{\Delta t}$  та  $\xi_{\max}^{(1)} = \frac{v_{\max}}{\Delta t}$ .

4. Ідентифікація інтегрального віброприскорення 2-го порядку як заступного інформативного еквівалента віброзміщення

Відлікове значення віброзміщення  $s$  на  $(k+1)$ -му кроці дискретизації

$$s_{k+1} = s_0 + (k+1)\Delta t v_0 + \Delta t^2 \sum_{i_1=0}^{k-1} \sum_{i_2=0}^{i_1} a_{i_2}. \quad (8)$$

Неважко помітити, що подвійна сума в формулі (8) є  $(k-1)$ -шим відліковим значенням інтегрального віброприскорення 2-го порядку. Тому формулу можна переписати з урахуванням (3):

$$s_{k+1} = s_0 + (k+1)\Delta t v_0 + \Delta t^2 \xi_{k-1}^{(2)}. \quad (9)$$

Отримане співвідношення (9) є оператором відображення послідовності відлікових значень віброприскорення  $\{a_0, a_1, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots\}$  об'єкта вимірювання або контролю у відлікові значення віброзміщення  $\{s_0, s_1, \dots, s_k, s_{k+1}, \dots\}$ . Цей оператор вирізняються рядом позитивних якостей.

Однією з таких якостей є *узагальненість* оператора, що дозволяє математично описувати процес зазначеного перетворення не тільки за стаціонарних режимів роботи об'єкта віброконтролю, але і під час його перехідних процесів, і здійснювати це як за нульових, так і ненульових початкових умов віброшвидкості  $v_0$  та віброзміщення  $s_0$ .

Іншою істотною якістю зазначеного оператора є його *лінійність*, оскільки рівняння відображення (9) можна записати у вигляді (4).

Якщо всі початкові умови для об'єкта віброконтролю водночас покласти рівними нулю, тобто  $s_0 = 0$ ,  $v_0 = 0$ ,  $a_0 = 0$ , оператор відображення (9) зазнає істотних і важливих спрощень.

Зауважимо, що така ситуація у виробничій практиці зустрічається доволі часто. Наприклад, саме такі передумови спостерігаються під час запуску та розгону системи гідрогенератора у разі проведення контролю його вібраційного стану. На сьогодні такий вид віброконтролю на об'єктах гідроенергетики є затребуваним та малодослідженим.

Відтак за нульових початкових умов в формулі (9) спостерігають якісні зміни, де між відліковими значеннями віброзміщення та інтегрального віброприскорення 2-го порядку встановлюється не просто лінійна залежність, а формується пряма пропорційність

$$s_{k+1} = \Delta t^2 \xi_{k-1}^{(2)}. \quad (10)$$

Границі допускового інтервалу розраховуються на підставі (10):  $\xi_{\min}^{(2)} = \frac{s_{\min}}{\Delta t^2}$ ;  $\xi_{\max}^{(2)} = \frac{s_{\max}}{\Delta t^2}$ .

Висновки

Розв'язано задачу формування математичних засад для проведення процедури контролю вібраційного стану гідроагрегатів ГЕС і ГАЕС на основі альтернативних до віброшвидкості і віброзміщення параметрів – інтегральних віброприскорень 1-го та 2-го порядків, що дозволяє зменшити загальний об'єм обчислювального навантаження на первинний трак засобу віброконтролю.

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. Ширман А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М. : Машиностроение, 1996. – 276 с.
3. Вибрации в технике : справочник. В 6-ти т. Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э. Э. Лавендела. – М. : 1981. – 509 с.

О. М. Васілевський, к.т.н., доцент

## СПЕКТРАЛЬНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ НЕПЕВНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ

Ключові слова: динамічна непевність, спектральний метод, частотна характеристика, спектральна функція.

Для оцінювання динамічної непевності вимірювання зручною для практичного застосування є його частотна характеристика [1].

Динамічною непевністю вимірювання називається складова непевності вимірювання, що обумовлена реакцією засобу вимірювання на частоту (або швидкість) зміни вхідного сигналу, яка залежить від динамічних властивостей засобу вимірювання і частотного спектра вхідного сигналу [1 - 3].

Динамічну непевність  $u_d$  вихідного сигналу, який отримують за допомогою засобу вимірювання (ЗВ) з відомою частотною характеристикою, можна виразити через квадратний корінь з інтеграла від добутку квадрата модуля частотної характеристики засобу вимірювання і квадрата спектральної функції вхідного сигналу в широкому діапазоні частот [1, 3]

$$u_d = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |S(j\omega)|^2 |X(j\omega)|^2 d\omega}, \quad (1)$$

де  $|S(j\omega)|$  – модуль частотної характеристики ЗВ, що використовується при динамічних вимірюваннях, або амплітудно-частотна характеристика ЗВ, що визначається за формулою

$$|S(j\omega)| = \sqrt{a^2(\omega) + b^2(\omega)}, \quad (2)$$

де  $a(\omega)$ ,  $b(\omega)$  – відповідно, дійсна та уявна частини частотної характеристики  $S(j\omega)$ ;

$X(j\omega)$  – спектральна функція вхідного сигналу, яка пов'язана з вхідною функцією часу  $x(t)$  виразом Лапласа

$$X(j\omega) = \int_0^{\infty} x(t) e^{-j\omega_0 t} dt, \quad (3)$$

де  $\omega_0$  – частота вхідного сигналу.

Отже, для оцінювання динамічної непевності необхідно визначити модуль частотної характеристики засобу вимірювання, що використовується при вимірюваннях та спектральну функцію вхідного сигналу, яка пов'язана з вимірювальним сигналом в часовій області  $x(t)$  перетворенням Лапласа.

Отримане значення динамічної непевності враховується в комбінованій непевності вимірювань шляхом її додавання до інших складових непевностей, що отримані за типом А та типом В [4].

Список літературних джерел:

1. [Vasilevskiy O. M. A frequency method for dynamic uncertainty evaluation of measurement during modes of dynamic operation / O. M. Vasilevskiy // International Journal of Metrology and Quality Engineering. - 2015. - Volume 6. - Number 2. - 202.](#)

2. Васілевський О. М. Основи теорії невизначеності вимірювання : [підручник] / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 230 с. – ISBN 978-966-641-632-5.

3. [Василевский А. Н. Способ выражения динамической неопределенности средств измерений / А. Н. Василевский // Приборы и методы измерений. – Минск. – 2013. - № 2 \(7\). – С. 109 – 113.](#)

4. Васілевський О. М. Алгоритм оцінювання невизначеності у вимірюваннях при виконанні метрологічних робіт / О. М. Васілевський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. - № 3 (7). – 2006. – С. 147-151.

Я.В. Волинська

## ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ТА ОБ'ЄМУ РІДИНИ У ВІДКРИТИХ КАНАЛАХ

Ключові слова: відкритий канал, водозлив, лоток, витрата, рівень рідини, напір, точність, водовідведення.

У зв'язку з постійним зростанням вартості енергоресурсів, дедалі важливішим стає питання приладного обліку не тільки водоспоживання, а й водовідведення. Актуальним є технічне оснащення вузлів обліку стічних вод, результати вимірювання якими в подальшому використовуються для комерційних розрахунків.

На сьогодні більшість систем водовідведення реалізовані у вигляді безнапірних трубопроводів або відкритих каналів. До відкритих каналів відносяться іригаційні канали, каналізаційні системи круглої і U-подібної форми комунальних і технологічних стоків підприємств і організацій. Рух рідини в таких каналах характеризується режимом вільного (незатопленого) витікання.

На даний момент, на вузлах обліку стічних вод, які були споруджені у 60-80 рр. минулого сторіччя, на багатьох підприємствах використовуються технічно застарілі засоби вимірювання, за допомогою яких контролюється витрата та об'єми стічних вод, а у переважній більшості організацій автоматизація таких вимірювань взагалі відсутня. Тому, об'єми стічних вод визначаються по середніх розрахункових показниках за місяць, що не відображає об'єктивної ситуації в їх обліку і не забезпечує достовірності вимірювань в цьому напрямку господарської діяльності.

Найбільш часто вживаним методом вимірювання витрати у відкритих каналах є використання спеціальних гідротехнічних споруд, рівень заповнення яких залежить від витрати. На практиці у якості таких гідротехнічних споруд використовуються стандартні водозливи та вимірювальні лотки (рис.1, 2). [1, 2, 3]

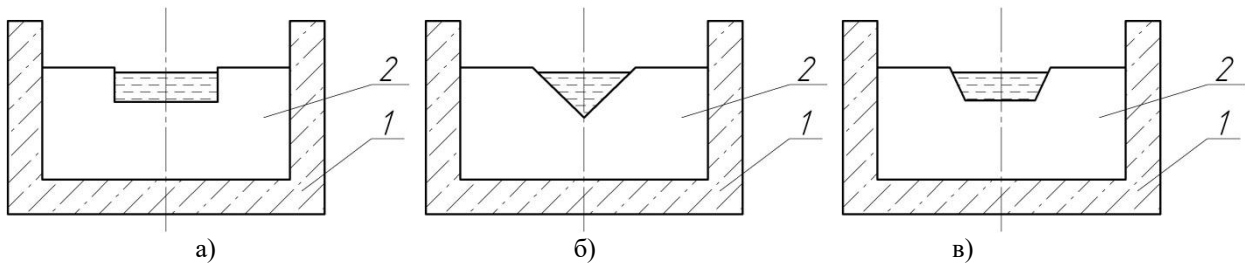


Рис.1 Основні види водозливів (за формою):  
а) прямокутний; б) трикутний; в) трапецеїдальний;  
1 – стінка каналу; 2 – водозлив

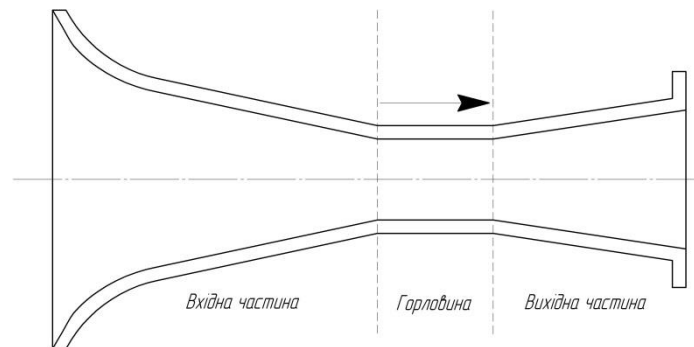


Рис.2 Загальний вид лотка

На сьогодні вимірювання об'єму та об'ємної витрати рідини у безнапірних каналах, у яких встановлені певні гідротехнічні споруди, здійснюється приладами з використанням методів «змінного рівня» і «площа-швидкість».

Метод «змінного рівня» полягає у визначенні витрати за результатами вимірювання рівня рідини у каналі (зазвичай за допомогою ультразвукового рівнеміра, який встановлюється над потоком) з урахуванням геометричних параметрів каналу. При використанні даного методу в канал вбудовуються лотки Вентурі, Паршала або водозливи, розміри яких стандартизовані і для них напівемпіричним шляхом отримані напірно-витратні характеристики.

Прилади, які працюють за принципом «площа-швидкість», здійснюють пряме вимірювання рівня та швидкості потоку. Первинні перетворювачі таких засобів вимірювальної техніки зазвичай встановлюються на дно вимірювального каналу. Геометричні параметри каналу заздалегідь вводяться в пам'ять приладу, використовуючи які, на ряду з отриманою інформацією про рівень заповнення, визначається площа поперечного перерізу потоку в даний момент часу, що дає можливість на основі визначеної середньої швидкості рідини отримати миттєве значення витрати.

Вимірювання витрати рідини у відкритих каналах супроводжується рядом дестабілізуючих факторів, пов'язаних зі станом вимірювального лотка і гідродинамічних характеристик потоку. До таких дестабілізуючих факторів слід віднести замулювання каналу, неоднорідність вимірюваного середовища та інші. На коректність вимірювання додатково впливає хвилеутворення на поверхні рідини.

Методи вимірювань витрати і об'єму рідини за допомогою водозливів і лотків відносяться до опосередкованих методів [4]. Витрата рідини при незатопленому (вільному) витіканні пов'язана з напором відносно горизонтальної площини порога водозливу або дна лотка. Значення об'єму рідини, що пройшла по каналу, отримують шляхом інтегрування значень витрати за певний період часу.

Узагальнене рівняння витрати при витіканні рідини крізь водозлив або лоток має вигляд [4]:

$$Q = E_0 \cdot A_w \sqrt{2gh} = E_0 \cdot C_0 \sqrt{2g} \cdot b \cdot h^n,$$

де  $E_0$  – числовий множник, який залежить від форми отвору водозливу або горловини лотка;

$A_w$  – площа поперечного перерізу потоку в отворі (горловині) водозливу або лотка;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$h$  – напір рідини над порогом водозливу або дном лотка;

$n$  – показник степені, що залежить від форми отвору водозливу або горловини лотка;

$C_0$  – узагальнений коефіцієнт витрати, що характеризує відхилення дійсних значень витрати від обчислених за аналітичним рівнянням;

$b$  – ширина порога водозливу або горловини лотка.

Результати вимірювання витрати та об'єму рідини у відкритих каналах характеризуються сукупністю складових похибки, обумовлених неточністю визначення кожного з параметрів, що входять у розрахункове рівняння. Тобто, достовірність вимірювання витрати, що здійснюється за допомогою водозливів чи лотків, залежить насамперед від точності засобів вимірювальної техніки, що входять до складу вимірювальної системи, точності визначення геометричних параметрів каналу чи лотка, а також від правильності визначення коефіцієнтів, що входять в рівняння витрати.

Отже, для отримання максимально достовірних результатів при проведенні обліку витрати та об'єму рідини у відкритих каналах необхідно попередньо провести локальне дослідження гідродинамічних особливостей потоку у конкретному локальному місці каналу, визначити витратні характеристики потоку та, на підґрунті отриманих результатів, підібрати конкретний тип водозливу або лотка виходячи з геометричної конфігурації відкритого каналу, а також необхідної точності.

Список літературних джерел:

1. Douglas M. Grant ISCO Open Channel Flow Measurement Handbook / Douglas M. Grant. – sixth edition. – Lincoln: Teledyne Isco, Incorporated, 2013. – 520 p.

2. ISO 1438:2008. Hydrometry – Open channel flow measurement using thin-plate weirs. – Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2008. – 66 p.

3. ISO 4359:2013. Flow measurement structures – Rectangular, trapezoidal and U-shaped flumes. – Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2013. – 84 p.

4. МИ 2406-97. Расход жидкости в безнапорных каналах систем водоснабжения и канализации. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков. – Введ. 1997-05-15. – М.: ВНИИМС, 1997. – 33 с.



**В.Ю. Кучерук д.т.н., проф.; Д.М. Компанець, магістрант**

**ОГЛЯД МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ, ХАРАКТЕРИСТИК ТА СПОСОБІВ ВИКОРИСТАННЯ ГРАФЕНУ  
У ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ**

Ключові слова: наноматеріал, графен, вимірювальна техніка, нанотехнології, датчик.

Слід відзначити бистрий темп розвитку мікроелектроніки за останні два десятиліття. Однак сучасний прогрес виявив проблему, котра стосується кремнію – головного матеріалу усіх електронних пристроїв. Проблема полягає у тому, що поступове зменшення розмірів елементів у кристалі приводить до погіршення характеристик пристроїв. В якості заміни кремнію, як основного матеріалу мікро та наноелектроніки розглядається багато різних матеріалів та композитів і одним із найпривабливіших вважається графен.

Графен був отриманий всього декілька років назад і вже зайняв ведуче місце серед нових суперматеріалів, котрий, за оцінкою експертів, може радикально перетворити сучасну електроніку та нанотехнології.

Метою роботи є огляд існуючих методів отримання графену, опис та огляд основних електричних та механічних властивостей даного наноматеріалу, а також представлення можливих ідей, щодо використання графену, як складову засобів вимірювальної техніки.

Графен являє собою одношарову двомірну вуглецеву структуру, поверхня якої викладена правильними шестикутниками із стороною 0,142 нм та атомами вуглецю у вершинах. Структура графену є складовим елементом кристалічного графіта, в якому такі графнові площини розташовані на відстані, приблизно 3,4 нм, один від одного. В результаті, відкриття відносно легкого способу виокремлення індивідуального зразка графена, в останні роки, різко виріс інтерес до його отримання.

Основними відомими методами отримання графену стали: мікромеханічне розшарування, рідинофазове розшарування, окислення, метод хімічного осадження пари, за допомогою електричної дуги, термічне розклад карбиду кремнію, епітаксіальне вирощування графену на металевій поверхні[1].

Також даний наноматеріал має низку властивостей таких як: висока електропровідність і теплопровідність, залежність електронних характеристик від наявності на поверхні графену приєднаних радикалів різної природи, регульована ширина забороненої зони, квантовий ефект Холла, надзвичайно висока рухливість носіїв, висока пружність і прийнятні електромеханічні характеристики.

Зазначені властивості надзвичайно привабливі з точки зору можливого прикладного використання графена в якості основи для нових наноматеріалів з поліпшеними механічними, електричними і теплофізичними характеристиками, а також, як елемент нанопристроїв

Відкриття графену і встановлення його фізико-хімічних характеристик привело до розробки широкого кола вимірювальних приладів, біодатчиків, хімічних датчиків, датчиків тиску і датчиків, що дозволяють виміряти масу інших фізичних величин на основі цього дивного матеріалу. Основна відмітна особливість таких приладів пов'язана з мініатюрними розмірами зразків графену. Датчик на основі графену може мати мікронні розміри, що дозволяє його використовувати у важкодоступних місцях великих промислових об'єктів, що представляють потенційну небезпеку для екології або людини. До таких об'єктів належать атомні і теплові електростанції, нафтопереробні підприємства і хімічні виробництва[2].

На даному етапі дослідження та розвитку цієї теми розглядається датчик тиску, що був винайдений вченими Univ. of California, Riverside (США). В якості фізичного механізму, відповідального за залежність показань приладу від тиску газу, розглядається ефект Холла, котрий має місце у присутності псевдомагнітного поля, яке виникає при деформації графенового листа.

Список літературних джерел:

1. Елецкий А. В., Искандарова И. М., Книжник А. А., Красиков Д. Н. Графен: методы получения и теплофизические свойства // УФН. — 2011. — Т. 181. — С. 227—258.
2. Das Sarma S., Adam S., Hwang E. H., Rossi E. Свойства графена: теоретическая перспектива // Rev. Mod. Phys.. — 2011. — Vol. 83. — P. 407—417.

**В.Г. Петрук, д.т.н., проф.; С.М. Кватернюк, к.т.н. с.н.с.; Слободянюк А.О., студ.;  
Почапська А.В., студ.; Федорова К.В., студ.;**

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕОДНОРІДНИХ БІОЛОГІЧНИХ СЕРЕДОВИЩ**

Ключові слова: вимірювальний контроль, мультиспектральний контроль, ПЗЗ-камера

Дана робота передбачає проведення дослідження і розроблення методів та засобів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю та діагностування параметрів неоднорідних біологічних середовищ для ряду прикладних задач екологічного моніторингу [1], біомедицині діагностики та контролю якості продукції з використанням n-вимірних мультиспектральних подання інформації для кожного пікселя масиву цифрових зображень отриманих ПЗЗ-камерою, що дозволить розвинути нові концепції та методи телевізійного вимірювального контролю та діагностування, а також підвищити швидкість та вірогідність контролю параметрів біологічних об'єктів. Прикладні результати роботи можуть мати подвійне використання, що має особливо важливе значення для підвищення обороноздатності та національної безпеки держави. Зокрема, планується розроблення мультиспектральних телевізійних засобів діагностування характеру та ступеню тяжкості механічних ушкоджень при застосуванні вогнепальних боєприпасів на біоманекенах, біолого-фізіологічні властивості біотканин шкіри яких наближені до морфо-функціональних параметрів людини, що дозволяє здійснювати фізичне моделювання ушкоджень тіла внаслідок пострілу з вогнепальної зброї та прогнозувати розвиток посттравматичного процесу у людини.

Телевізійний вимірювальний контроль та діагностування параметрів неоднорідних біологічних середовищ може здійснюватись на основі обробки масивів мультиспектральних зображень об'єкта отриманих ПЗЗ камерою на характеристичних довжинах хвиль. На основі статистичної обробки спектральних характеристик коефіцієнту дифузного відбивання можливо визначити відмінності для об'єктів контролю, що перебувають у придатному чи непридатному стані у випадку прикладних задач контролю якості продукції чи контролю забруднення. Відмінність у коефіцієнті дифузного відбивання, вимірюваному на певній довжині хвилі та при визначеному значенні діапазону довжин хвиль для вимірювального каналу дозволяє з певною вірогідністю розрізнити придатний об'єкт від непридатного. При переході від спектрофотометрії дифузного відбивання до мультиспектрального телевізійного методу з'являється можливість порівнювати коефіцієнти дифузного відбивання чи пропускання для кожного пікселя зображення на n довжинах хвиль, причому діапазон довжин хвиль у кожному з вимірювальних каналів може відрізнитись. Тому при побудові мультиспектрального телевізійного засобу необхідно спочатку вирішити задачу створення оптимальної структури пристрою, а саме оптимальної кількості спектральних каналів, діапазону довжин хвиль кожного з каналів та необхідної роздільної здатності ПЗЗ-камери. При застосуванні цифрової колориметрії та вимірюванні координат кольору визначається відмінність у кольорі для нормальної і патологічної ділянки біотканини, як відстань між точками у тривимірному просторі координат кольору. При переході від цифрової колориметрії до мультиспектрального телевізійного методу відмінність між нормальною та патологічною ділянкою визначається у n-вимірному мультиспектральному просторі для кожного пікселя зображення, що дозволяє оптимізувати структуру засобу під роботу на тих довжинах хвиль і у тих діапазонах, де відмінності будуть найбільш помітні, і, таким чином, підвищити вірогідність контролю.

Список літературних джерел:

1. Спосіб мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону / [Петрук В.Г., Кватернюк С. М., Кватернюк О.Є., Петрук Р.В.] // Патент України №99580МПК (2006) G01N 21/21 / заявл. 05.01.2015; опубл. 10.06.2015; Бюл. № 11. – 5 с.

**О.Є. Середюк, д.т.н., проф.; Т.В. Лютенко, аспірант; Б.І. Прудніков, метролог**  
**НАУКОВІ ЗАСАДИ БЕЗДЕМОНТАЖНОЇ ПОВІРКИ ПОБУТОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ**  
**ГАЗУ ЗА ОБМЕЖЕНИМ ДІАПАЗОНОМ РОБОЧИХ ВИТРАТ**

Ключові слова: побутовий лічильник, природний газ, робочі витрати, повірка, похибка, апроксимація, середньозважена похибка, поправка.

На сьогоднішній день побутові лічильники газу (ПЛГ) набули значного практичного застосування. Водночас є ряд проблем стосовно метрологічного забезпечення цих засобів обліку, без вирішення яких не тільки знижується достовірність обліку, що також вимагає значних матеріальних затрат. Головною з цих проблем є відсутність бездемонтажної повірки ПЛГ з використанням природного газу як робочого середовища.

Незважаючи на те, що є ряд відомих для фахівців технічних напрацювань для вирішення цього питання, однак юридично і технічно на даний час вони не мають практичного застосування. Юридичний аспект проблеми полягає у відсутності нормативного документа, який би дозволив реалізувати повірку ПЛГ на природному газі, а технічний полягає у практичній неможливості визначення похибки ПЛГ безпосередньо у споживача при функціонуванні ПЛГ за максимальних робочих витрат. Тому необхідно застосовувати нові технічні і метрологічні підходи.

Метою даного дослідження є узагальнення результатів експериментальних досліджень ПЛГ під час їх періодичної повірки і обґрунтування на цій основі нового підходу до практичної реалізації бездемонтажної повірки ПЛГ на природному газі.

За базу для досліджень взяті результати повірки на повітрі побутових лічильників типорозміру G4 (по 15 штук), яка здійснювалась на еталонній установці ПАТ «Івано-Франківськгаз» в 2013 р.

Для наглядності результати повірки з конкретизацією заводу-виготовлювача, року виготовлення подані на рис.1,2. При цьому автори не претендують на відображення повного спектру результатів повірки всіх ПЛГ.

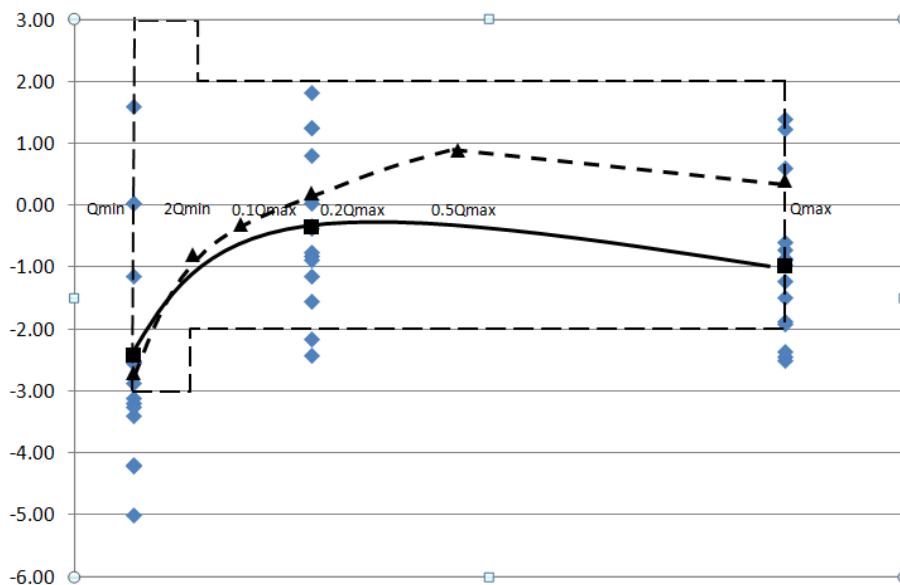


Рис.1. Графічна ілюстрація метрологічних характеристик ПЛГ типу ВК G4 Т 2005 року випуску

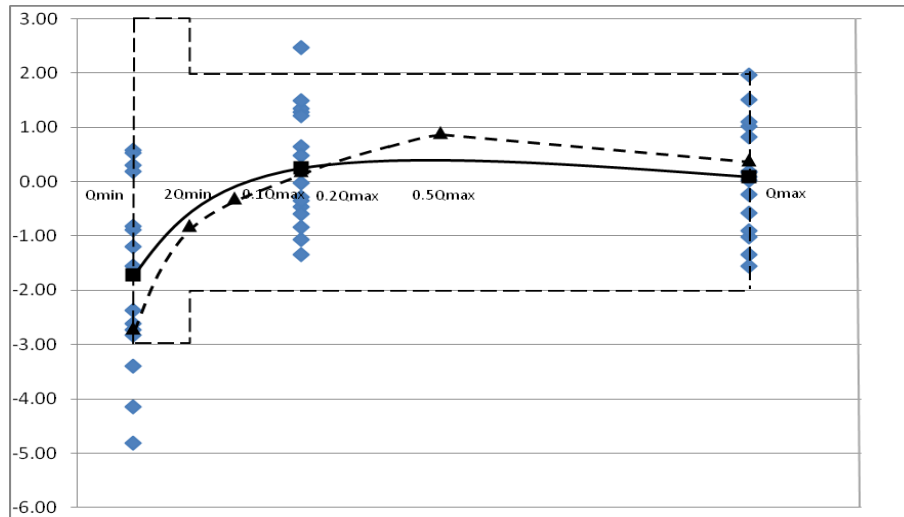


Рис.2. Графічна ілюстрація метрологічних характеристик ПЛГ типу GALLUS G4 2005 року випуску

Подання похибки лічильників, які пройшли повірку, наведено з метою виявлення типової експлуатаційної кривої похибки. На графіках також вказана зона паспортної допустимої похибки ПЛГ при їх первинній повірці, тобто при випуску. Крім того, пунктиром вказана паспортна крива похибок, яка виходячи з практичного і наукового досвіду авторів вивчення метрологічних характеристик ПЛГ сформована нами таким чином:

$$\begin{aligned} \delta_{Q_{min}} = -2,7\%, \delta_{2Q_{min}} = -0,8\%, \delta_{0,1Q_{max}} = -0,3\%, \\ \delta_{0,2Q_{max}} = 0,2\%, \delta_{0,5Q_{max}} = 0,9\%, \delta_{Q_{max}} = 0,4\% \end{aligned} \quad (1)$$

де  $Q_{min}$ ,  $Q_{max}$  - мінімальна і максимальна робочі витрати ПЛГ відповідно.

Суцільними лініями на кожному з графіків вказані усереднені криві похибок лічильників, які побудовані за обчисленими середньоарифметичними значеннями похибок для кожної з трьох вказаних на рисунках регламентованих витрат при повірці ПЛГ.

Співставлення експериментальних і паспортних кривих похибок дає можливість виявити закономірності зміни метрологічних характеристик ПЛГ при їх експлуатації.

Водночас потребують кількісного оцінювання зміни похибок ПЛГ. Для цього можна застосувати концепцію визначення середньозваженої похибки лічильників газу, яка подається формулою [1]:

$$\delta_{C3} = \frac{\sum (Q_i / Q_{max}) \delta_i}{\sum (Q_i / Q_{max})} \quad (2)$$

де  $\delta_{C3}$  - середньозважена похибка;  $\delta_i$  - похибка на  $i$ -тій витраті  $Q_i$ .

При цьому якщо  $Q_i = Q_{max}$ , то у їхньому співвідношенні замість 1 необхідно застосовувати ваговий коефіцієнт 0,4.

Використовуючи умову (1) для ПЛГ із робочим діапазоном 1:150 формула (2) набуває вигляду:

$$\delta_{C3П} = \frac{0,015\delta_{Q_{min}} + 0,03\delta_{2Q_{min}} + 0,1\delta_{0,1Q_{max}} + 0,2\delta_{0,2Q_{max}} + 0,5\delta_{0,5Q_{max}} + 0,4\delta_{Q_{max}}}{1,245} = 0,46\% \quad (3)$$

де  $\delta_{C3П}$  - середньозважена паспортна похибка.

На базі значень похибок, які встановлені на повірочній установці для трьох значень витрат формула (2) запишеться:

$$\delta_{C3E(3m)}^{HB} = \frac{0,015\delta_{Q_{\min}} + 0,2\delta_{0,2Q_{\max}} + 0,4\delta_{Q_{\max}}}{0,615}, \quad (4)$$

де  $\delta_{C3E(3m)}^{HB}$  - середньозважена експериментально визначена похибка ПЛГ по трьох точках витрати, які охоплюють нижнє і верхнє її значення.

Зважаючи на те, що при повірці визначають похибку ПЛГ не для всіх із шести конкретизованих в (1) витрат, можна запровадити поняття середньозваженої розрахунково-експериментальної похибки:

$$\delta_{C3PE(6m)} = \frac{0,015\delta_{Q_{\min}} + 0,03\delta_{2Q_{\min}}^a + 0,1\delta_{0,1Q_{\max}}^a + 0,2\delta_{0,2Q_{\max}}^a + 0,5\delta_{0,5Q_{\max}}^a + 0,4\delta_{Q_{\max}}^a}{1,245}, \quad (5)$$

де  $\delta_{2Q_{\min}}^a$ ,  $\delta_{0,1Q_{\max}}^a$ ,  $\delta_{0,5Q_{\max}}^a$  - похибка ПЛГ, яка визначена за результатами апроксимації кривої похибок конкретного лічильника за витрат  $2Q_{\min}$ ,  $0,1Q_{\max}$ ,  $0,5Q_{\max}$  відповідно.

Для випадку повірки ПЛГ по трьох нижніх значеннях витрати, що є можливим для реалізації при визначенні похибки за місцем експлуатації, формулу (3) можна записати

$$\delta_{C3E(3m)}^H = \frac{0,015\delta_{Q_{\min}} + 0,03\delta_{2Q_{\min}} + 0,1\delta_{0,1Q_{\max}}}{0,145}, \quad (6)$$

де  $\delta_{C3E(3m)}^H$  - середньозважена експериментально визначена похибка ПЛГ по трьох точках витрати, які охоплюють три нижніх її значення.

На підставі отриманих значень можна визначити різницю в обчислених значеннях середньозважених похибок, що дає можливість розраховувати поправку до показів ПЛГ за врахуванням їх фактичних метрологічних характеристик за формулами:

$$P_1 = -(\delta_{C3PE(6m)} - \delta_{C3E(3m)}); P_2 = -(\delta_{C3E(3m)}^{HB} - \delta_{C3E(3m)}); P_3 = -(\delta_{C3E(3m)}^H - \delta_{C3E(3m)}). \quad (7)$$

Значення поправок, розрахованих за формулами (7) для лічильників, наведених на рис.1,2, подані в табл.1. При цьому ПЛГ №1, №2, №3 стосуються лічильників з найвищою, середньою і найнижчою кривою похибок відповідно.

Таблиця 1. Результати обчислення експериментально визначених за різними алгоритмами поправок для ПЛГ.

Тип лічильника	Вибраний ПЛГ	Поправка $P_1$ , %	Поправка $P_2$ , %	Поправка $P_3$ , %
<b>BK G4 T</b>	ПЛГ №1	-1,07	-1,10	-0,58
<b>BK G4 T</b>	ПЛГ №2	1,05	1,26	1,33
<b>BK G4 T</b>	ПЛГ №3	1,49	1,42	2,81
<b>GALLUS G4</b>	ПЛГ №1	-2,82	-1,63	-1,41
<b>GALLUS G4</b>	ПЛГ №2	0,25	0,41	0,82
<b>GALLUS G4</b>	ПЛГ №3	1,87	1,90	2,74

Висновки: Досліджена можливість вибору алгоритму розрахунку середньозваженої похибки для конкретного окремого приладу з врахуванням значень робочих витрат при повірці ПЛГ. Запропонований алгоритм визначення поправок при повірці ПЛГ під час експлуатації. Обґрунтована можливість проведення повірки по обмеженій кількості робочих витрат ПЛГ.

Список літературних джерел:

1. Лічильники газу роторні. Загальні технічні умови (EN 12480:2002, IDT) : ДСТУ EN 12480:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – VI, 25 с.

**О. П. Яненко, д.т.н., проф.; В. О. Кальнюк, спеціаліст**

### **МЕДИЧНІ ЕФЕКТИ ЕЛЕКТРОФУЛЬГУРАЦІЇ**

Ключові слова: електрофульгурація, електрохірургія, мікрохвилі, іскрові розряди, аероіони, озонотерапія, аероінгаляція, висока напруга.

Високочастотна електрохірургія, як метод хірургічного втручання високочастотним струмом, широко використовується в сучасній медицині для розтину, або коагуляції. Зменшує час проведення операцій, створює асептичні умови в зоні лікування. Одним з переліку таких приладів є Електрофульгуратор. Головною відмінністю від інших приладів, є безконтактна робота, робочим інструментом в якому є монополярний електрод [1].

При проходженні високочастотного іскрового розряду, між даним електродом та тканиною виникають певні фізичні ефекти, що представлені на рисунку 1.

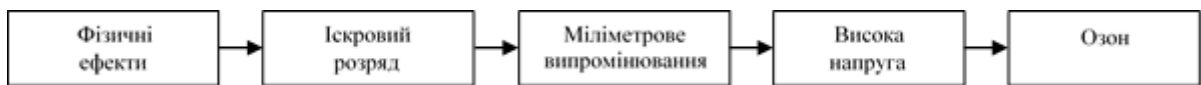


Рис. 1 Фізичні іскрового розряду

За допомогою застосування модуляції сигналу можна змінювати варіант застосування Електрофульгуратора: за її наявності прилад працює як коагулятор, без модуляції як скальпель. Проходження іскрового розряду породжує певні медичні ефекти, які зображено на рисунку 2.

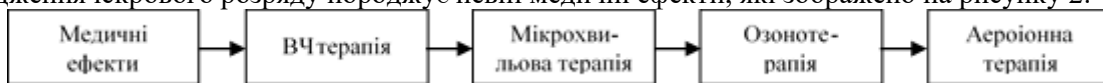


Рис. 2 Медичні ефекти іскрового розряду

При проходженні високочастотного струму, величина якого не перевищує 0,02 мА, виникає коронний іскровий розряд [2]. В результаті іони в тканинах тіла починають коливатись, виділяючи при цьому тепло, з'являється бактеріостатичний ефект, знімає спазм судин. Іскрові розряди чинять подразнюючу дію з виділенням озону. Висока частота запобігає небажаній стимуляції м'язів, обмежує патологічні процеси. Мікрохвильове випромінювання здійснює стимуляцію тканини з середини. Розширюються судини, пришвидшується кровоток, активізуються обмінні процеси організму, що викликає обезболюючу та протизапальну дію. Відбувається однонаправлений вплив на організм. Для отримання резонансного відгуку організму, він повинен мати функціональні порушення. Дія електромагнітного випромінювання вирішальним чином залежить від вихідного стану організму. Так, якщо у вихідному стані деяка функція організму ослаблена в порівнянні з нормою в кілька разів, то за допомогою опромінення її можна підняти приблизно стільки ж разів, але в той час на поточне функціонування здорового організму те ж саме опромінення практично не діє. Озон повністю пригнічує ріст певних колоній багатьох бактерій, а при підвищенні концентрації відбувається повна інактивація (зменшення активності, чи повне руйнування). Знищує практично всі види грибів, вірусів і найпростіших. В процесі озонотерапії, до організму потрапляють активні форми кисню. Відбувається стимуляція антиоксидантної системи та уповільнюється процес окиснення ліпідів.

При проходженні високовольтного розряду відбувається іонізація повітря. Виникають позитивно та негативно заряджені аероіони кисню. Лікувальними ефектами вважають аналгетичний, імуностимулюючий та бактерицидний. При роботі Електрофульгуратора в ротовій порожнині має місце аероїонна терапія, зокрема інгаляція. Підвищений вміст в повітрі легких аероїонів сприяє нормалізації обміну речовин, стимулює імунітет, полегшує дихання, має профілактичну дію.

Список літературних джерел:

1. Яненко О. П., Кальнюк В. О. Електрофульгуратор // Тези доп. Міжнародна науково-технічна конференція «РТПСАС 2015» . – Київ – 2015 – С.91
2. Електронна апаратура лікувально-діагностичних технологій О. П. Яненко, В. П. Куценко, С. М. Перегудов. Донецьк ІІІІ «Наука і освіта», 2011.

**В.В. Кухарчук, д. т. н., проф.; С.Ш. Кацев, к. т. н., доц.; В.Г. Мадьяров, к. т. н., доц.; С.О. Биковський**

## **ОСОБЛИВОСТІ ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ ОБОРОТНИХ ГІДРОАГРЕГАТИВ ГІДРОАКУМУЛЮЮЧИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**

Ключові слова: гідроакумуляюча електростанція, оборотний гідроагрегат, насосний режим, турбінний режим, режим синхронного компенсатора, биття валу.

В роботі [1] розглянуті принципи роботи, математичні моделі та алгоритми системи автоматизованого діагностування і прогнозування розвитку дефектів гідроагрегатів (САДП-РДГ), яка призначена для функціонування на Дністровській ГЕС-2. Система базується на принципах частотно-часового спектрального аналізу, який перетворює вхідні вібросигнали в амплітудно-частотно-часові спектри (АЧЧС). Крім того, САДП-РДГ отримує дані про струми навантаження та рівень води у водосховищі.

Аналогічна система може бути створена для Дністровської гідроакумуляючої електростанції (ГАЕС). Разом з тим, вібродіагностування агрегатів ГАЕС має деякі істотні особливості.

1. Агрегати гідроакумуляючих електростанцій є *оборотними*, тобто можуть працювати в двох режимах – *насосному* і *турбінному*. В першому режимі ГАЕС, споживаючи надлишкову енергію від енергосистеми в години мінімуму навантажень, перекачує воду з нижнього водосховища у верхній акумулюючий басейн. В другому режимі ГАЕС працює в години максимального споживання енергії. Використовуючи воду з верхнього басейну, вона видає електроенергію в систему.

Окрім цих режимів можливий також (досить рідко), так званий, режим *синхронного компенсатора*, коли від оборотного агрегату в систему надходить лише *реактивна енергія*.

Отже, нейроподібна мережа для вібродіагностування оборотного гідроагрегату повинна реалізовувати три режими роботи з різними параметрами настроювання а саме:

- фонових значення вейвлет-коефіцієнта  $j$ -ї смуги частот в певний момент часу  $D_{0xj}$ ;
- узагальнених числових коефіцієнтів, що характеризують залежність вейвлет-коефіцієнтів  $j$ -ї смуги частот від потужності навантаження  $v_j$ ;
- узагальнених числових коефіцієнтів, що характеризують залежність вейвлет-коефіцієнтів  $j$ -ї смуги частот від рівня води у водосховищі  $p_j, q_j$ ; (в режимі синхронного компенсатора ці коефіцієнти відсутні);
- вагові коефіцієнти, які визначають важливість урахування вейвлет-коефіцієнтів смуг частот АЧЧС  $i$ -го вібросигналу в рівні вірогідності  $k$ -го нейрона  $w_{ki}$ .

Окремо відзначимо, що струми навантаження в усіх трьох режимах різні. Крім того, в перших двох режимах відрізняються одне від одного рівні води у нижньому водосховищі та верхньому акумулюючому басейні.

2. Окрім традиційної для звичайних гідроагрегатів вібрації у потужних оборотних гідроагрегатів має місце явище *биття* валу [2].

За означенням, биття – це коливання, які є результатом додавання двох гармонічних коливань з близькими частотами. При цьому, частота коливань значень розмаху при битті дорівнює різниці частот коливань, які додаються.

Слід також пам'ятати, що биття в електромеханічних системах можуть бути пов'язані не лише з електромагнітними дефектами, а мати суто механічне походження.

Список літературних джерел:

1. Моніторинг, діагностування та прогнозування вібраційного стану гідроагрегатів : монографія. / В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацев, В. В. Усов та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 169 с.
2. Ширман А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А.Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М., 1996. – 276 с.

**О.Ш. Хакимов, д. т. н., проф.; П.М. Матякубова, д. т. н., проф.;**  
**Р.Р.Джаббаров, к.т.н., доцент; Р.Р.Исломов, к.т.н., доцент**

## **НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ ОТ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ТВЕРДОЕ ТЕЛО – ЖИДКОСТЬ.**

Ключевые слова: неопределенность, суммарная, стандартная, ультразвук, импеданс, коэффициент отражения.

Обычные ультразвуковые методы, непригодны для измерения динамической сдвиговой вязкости и упругости, поскольку, как было впервые показано Стоксом [1], в жидкой вязкоупругой среде чисто сдвиговые колебания, полностью затухают уже на расстоянии нескольких микрометров от возбуждающего их преобразователя. Однако с помощью косвенных акустических методов удается измерить как динамическую сдвиговую вязкость, так и упругость [2]. На мегагерцовых частотах для этой цели наиболее подходящим является импедансный метод измерения, в котором эти величины определяются из значений комплексного коэффициента отражения  $r^*$  акустической волны от границы раздела твердое тело – жидкость (далее- границы раздела)

$$r^* = r \cdot e^{j \cdot (\pi - \vartheta)} \quad (1)$$

где  $r = |r^*|$  -модуль комплексного коэффициента отражения;

$\vartheta$  - фазовый сдвиг в отраженной волне, обусловленный наличием жидкости, рад.

В импедансном методе, как известно, можно использовать как нормальное, так и косое падение ультразвуковых волн (УВ) на границу раздела. Последний случай предпочтительнее, так как с ростом угла падения  $\varphi$  чувствительность метода увеличивается в  $1/\cos\varphi$  раз. Установка, основанная на косое падение УВ на границу раздела в диапазоне частот 10-150 МГц описана в [3].

Для калибровки установки в качестве жидкости использована дистиллированная вода [3]. Выбор дистиллированной воды в качестве жидкости для калибровки установки обусловлен, во-первых, тем, что в упомянутом диапазоне частот её динамическая сдвиговая вязкость не релаксирует, т.е. остаётся постоянной, следовательно, сопоставление экспериментальных результатов измерений с теоретическими расчетами будет более правдоподобным и надежным. Во-вторых, среды жидкостей вода имеет относительно малую статическую вязкость, что позволит определить возможности (чувствительности) установки.

В [3] приведены результаты измерения динамических сдвиговых свойств дистиллированной воды, однако не оценены точностные характеристики (неопределенности) установки. Этим актуальным вопросам посвящена данная работа.

Модуль комплексного коэффициента отражения  $r$  определяют путем одновременного измерения амплитуд акустических сигналов до  $U_0$  и после  $U$  нанесения жидкости на рабочую поверхность плавленого кварца. Таким образом, двумя входными величинами являются  $U_0$  и  $U$ , а выходной (измеряемой) величиной являются одна из составляющих комплексного  $r^*$  коэффициента отражения – его модуль  $r$ .

Измеряемая величина связана с входными величинами уравнением

$$r = \left( \frac{U}{U_0} \right)^{\frac{1}{2m-1}}, \quad (2)$$

где  $m$  - номер рабочего эхо-сигнала.

Результаты многократных ( $n=5$ ) наблюдений этих двух входных величин  $U_0$  и  $U$ , их средние арифметические значения  $\bar{U}_0$  и  $\bar{U}$ , стандартные неопределенности типа А  $u_A(\bar{U}_0)$  и  $u_A(\bar{U})$ , вычисленные по [4, формула (4)], коэффициенты корреляции  $\rho(\bar{U}_0, \bar{U})$  оцененные по (3) приведены в табл. 1 и 2

$$\rho(\bar{U}_0, \bar{U}) = \frac{1}{u(\bar{U}_0) \cdot u(\bar{U})} \cdot \frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{k=1}^n (\bar{U}_{0k} - \bar{U}_0)(\bar{U}_k - \bar{U}) \quad (3)$$

Таблица 1 – Результаты независимых рядов наблюдений входной величины  $U_0$ , В



Номер ряда	Частота f, МГц								
	10,0	31,0	40,0	51,0	69,5	89,0	110	129	150
1	1,50	1,53	1,68	1,54	1,49	1,49	1,45	1,53	1,58
2	1,48	1,50	1,65	1,50	1,47	1,51	1,42	1,49	1,56
3	1,50	1,57	1,73	1,60	1,49	1,49	1,49	1,57	1,56
4	1,43	1,55	1,71	1,51	1,42	1,47	1,47	1,55	1,57
5	1,50	1,57	1,73	1,52	1,49	1,52	1,49	1,57	1,58
$\bar{U}_0$	1,48	1,54	1,70	1,53	1,47	1,50	1,46	1,54	1,57
$u_A(\bar{U}_0)$	0,012	0,014	0,015	0,017	0,012	0,009	0,013	0,013	0,005

Таблица 2 – Результаты независимых рядов наблюдений входной величины U, В

Номер ряда	Частота, МГц								
	10,0	31,0	40,0	51,0	69,5	89,0	110	129	150
1	1,363	1,43	1,56	1,34	1,36	1,22	1,24	1,31	1,24
2	1,440	1,30	1,42	1,39	1,28	1,11	1,15	1,22	1,31
3	1,301	1,47	1,60	1,39	1,36	1,39	1,21	1,32	1,17
4	1,408	1,33	1,44	1,22	1,05	1,28	1,21	1,19	1,32
5	1,509	1,51	1,64	1,47	1,36	1,42	1,30	1,33	1,37
$\bar{U}$	1,40	1,41	1,53	1,36	1,28	1,28	1,22	1,27	1,28
$u_A(\bar{U})$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,02	0,03	0,04
$\rho(\bar{U}_0, \bar{U})$	0,096	0,760	0,760	0,208	1,000	0,065	0,719	0,616	0,471

Измеряемая величина - коэффициента отражения  $\gamma$  оценена двумя способами: используя уравнения (2), с заменой  $U_0$  и  $U$  на их средние значения  $\bar{U}_0$  и  $\bar{U}$ , соответственно (табл. 3), и метод приведения - второй способ (табл. 4 и рис.1).

Таблица 3 – Анализ данных

Частота, МГц	10,0	31,0	40,0	51,0	69,5	89,0	110	129	150
$\gamma$ (1-способом)	0,990	0,982	0,979	0,977	0,977	0,973	0,969	0,966	0,963
$\bar{\gamma}$ (2-способом)	0,989	0,982	0,979	0,976	0,972	0,969	0,965	0,963	0,960
$u_c^*(\gamma), 10^{-3}$ (1-способом без учёта корреляции)	5,20	5,88	5,86	6,22	9,24	8,56	4,18	4,65	5,42
$u_c(\gamma), 10^{-3}$ (1-способом с учётом корреляции)	5,35	4,43	4,42	5,77	7,50	8,48	2,84	3,57	5,15
$u(\bar{\gamma}), 10^{-3}$ (2-способом)	5,37	4,45	4,44	5,85	8,01	8,60	2,81	3,61	5,21

Таблица 4 – Значения  $\gamma$  вычисленные из каждого ряда входных данных  $U_0$  и  $U$

Частота, МГц	10,0	31,0	40,0	51,0	69,5	89,0	110	129	150
1	0,982	0,987	0,984	0,972	0,983	0,960	0,970	0,969	0,952
2	0,995	0,972	0,970	0,986	0,972	0,940	0,960	0,960	0,965
3	0,972	0,987	0,984	0,972	0,983	0,986	0,960	0,967	0,943
4	0,997	0,970	0,967	0,959	0,941	0,973	0,963	0,950	0,967
5	1,002	0,992	0,990	0,992	0,983	0,986	0,974	0,967	0,972
$\bar{\gamma}$	0,989	0,982	0,979	0,976	0,972	0,969	0,965	0,963	0,960
$u(\bar{\gamma}), 10^{-3}$	5,37	4,45	4,44	5,85	8,01	8,60	2,81	3,61	5,21

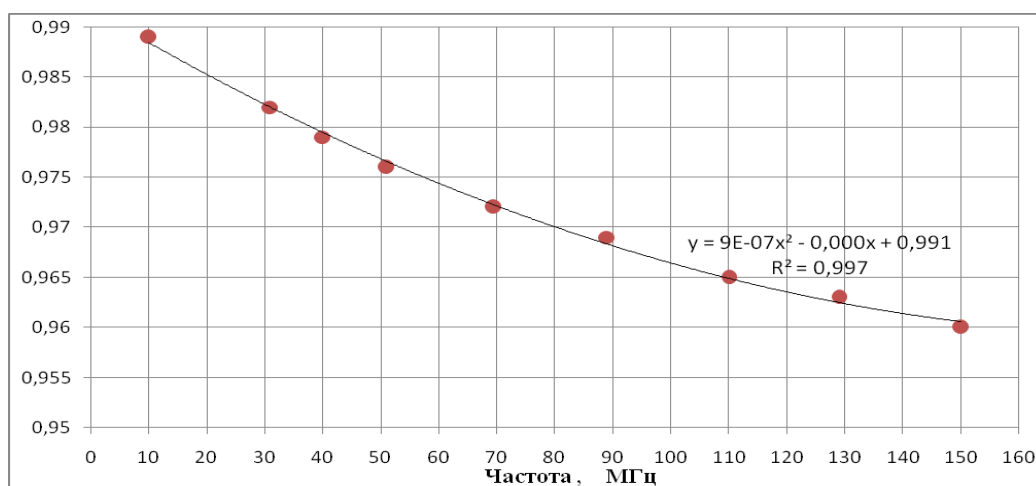


Рисунок 1 – Частотная зависимость коэффициента отражения  $r$ , оцененная вторым способом

Поскольку, входные величины  $U_0$  и  $U$  измерены многократно и одновременно, то уместно предположить, что они могут быть попарно коррелированы. Поэтому, для результатов полученными первым способом, стандартная неопределенность оценена с учетом  $u_c(r)$  и без учета  $u_{c_c}^*(r)$  корреляции по (4)

$$u_c(r) = \sqrt{[c_U \cdot u_A(\bar{U})]^2 + [c_{U_0} \cdot u_A(\bar{U}_0)]^2 - 2 \cdot c_U \cdot c_{U_0} \cdot u_A(\bar{U}) \cdot u_A(\bar{U}_0) \cdot r(\bar{U}, \bar{U}_0)}; \quad u_{c_c}^*(r) = \sqrt{[c_U \cdot u_A(\bar{U})]^2 + [c_{U_0} \cdot u_A(\bar{U}_0)]^2} \quad (4)$$

где  $c_{U_0}$  и  $c_U$  - коэффициенты чувствительности суммарной неопределенности к изменениям значений амплитуды сигнала без жидкости  $U_0$  и при ее наличии  $U$ , соответственно (5)

$$c_{\bar{U}_0} = \frac{\partial r}{\partial \bar{U}_0} = -\frac{\bar{r}}{2m-1} \cdot \frac{1}{\bar{U}_0}; \quad c_{\bar{U}} = \frac{\partial r}{\partial \bar{U}} = \frac{\bar{r}}{2m-1} \cdot \frac{1}{\bar{U}}; \quad (5)$$

Для сравнения результатов, полученных упомянутыми способами, они сведены в таблицу 3.

#### Выводы

Из анализа данных, приведенных в таблице 3 и рис.1, следует, что:

- значения коэффициента отражения с повышением частоты сигнала (ультразвука) от 10 до 150 МГц уменьшается на 2,7 %;
- результаты, полученные, первым и вторым способами оценки, как и предполагалась, поскольку модель измерения (2) нелинейная, отличаются;
- значения суммарных неопределенностей результатов оцененных методом приведения (вторым способом) и первым способом с учетом корреляции, в пределах точности измерений, совпадают;
- значения суммарной неопределенности, оцененные первым способом, игнорируя существующую корреляцию, заметно отличается от результатов, полученных с учетом корреляции;
- суммарная стандартная неопределенность измерения коэффициента отражения, реализованного аппаратурой [3], не более 1 %.

#### Список литературы:

1. Л. Р э л е й. Теория звука, т. 2. М., Гостехтеориздат, 1955.
2. Г. Мак Скимин. Ультразвуковые методы измерения механических характеристик жидкостей и твердых тел. Физическая акустика (под ред. У. Мэсона) т. I, ч. А, гл. 4, 325-397, М., «Мир», 1966.
3. Григорьев С.Б., Михайлов И.Г., Хакимов О.Ш. Измерение сдвиговых вязкоупругих свойств некоторых жидкостей // Акустический журнал - 1974. - Т.20. - № 1. - С44-48.
4. Руководство по выражению неопределенности измерения: Перевод с англ. под науч. ред. проф. Слава В.А. – ГП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», С.–Петербург, 1999. – 134 с.

С.С. Федин, д.т.н., проф.; И.С. Зубрецкая, аспирант

## НЕЙРОСЕТЕВАЯ АППРОКСИМАЦИЯ $R/T$ -ХАРАКТЕРИСТИКИ NTC-ТЕРМИСТОРА

Ключевые слова: нейросетевая аппроксимация, полиномиальная аппроксимация, точность,  $R/T$ -характеристика, NTC-термистор, рабочий диапазон температуры, НС-модель.

В настоящее время для проведения температурных измерений в различных сферах деятельности и отраслях промышленности широко используются NTC-термисторы. Их отличительной особенностью, например, от термопреобразователей сопротивления, является существенная нелинейность функции преобразования температуры  $T$  в электрическое сопротивление  $R$ , что требует обеспечения точности аппроксимации  $R/T$ -характеристики NTC-термистора при выполнении процедуры его индивидуальной градуировки.

Наиболее универсальным способом аппроксимации  $R/T$ -характеристики NTC-термистора является использование полиномиальной зависимости Стейнхарта-Харта, параметры, которой определяются при градуировке в трех температурных точках с интервалом не менее чем  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1], что обуславливает возможность достижения максимальной точности аппроксимации функции преобразования NTC-термистора для выбранного поддиапазона температуры.

Однако NTC-термисторы характеризуются широким рабочим диапазоном температуры, который, например, для термисторов фирмы EPCOS серии B57703M соответствует  $(-55\dots 155)^{\circ}\text{C}$  с диапазоном сопротивления  $(963,0\dots 0,1653)\text{ кОм}$  [2]. Поэтому нетривиальной задачей обеспечения точности аппроксимации  $R/T$ -характеристики является выбор узловых точек рабочего диапазона. Так для семи поддиапазонов температуры  $T, ^{\circ}\text{C}$ :  $(-55\dots -30)$ ;  $(-25\dots 0)$ ;  $(5\dots 30)$ ;  $(35\dots 60)$ ;  $(65\dots 90)$ ;  $(95\dots 120)$ ;  $(125\dots 155)$  рабочего диапазона температуры NTC-термистора решение задачи обеспечения точности аппроксимации  $R/T$ -характеристики возможно на основе нейросетевого моделирования. Его суть заключается в нахождении весовых коэффициентов связей между нейронами сети с минимальной погрешностью аппроксимации зависимости «вход→выход», полученной на основе обучения модели нейронной сети (НС) [3].

Разработка нейросетевых моделей для обеспечения точности аппроксимации  $R/T$ -характеристики NTC-термистора в рабочем диапазоне температуры выполнялась в несколько этапов. На первом этапе исследования осуществляли полиномиальную аппроксимацию  $R/T$ -характеристики NTC-термистора B57703M0103G017 для выбранных семи поддиапазонов и нейросетевую аппроксимацию для всего рабочего диапазона температуры в узловых точках с шагом  $5^{\circ}\text{C}$ . Поскольку точность аппроксимации, при которой модель НС характеризуется свойством сходимости алгоритма обучения, в значительной степени зависит от выбранного диапазона обучающего показателя, увеличение которого в ряде случаев уменьшает достоверность обобщения информации, диапазон выходной величины  $R$  был сжат с использованием процедуры логарифмирования  $\ln(R)$ .

Анализ полученных результатов показал, что значение абсолютной погрешности нейросетевой аппроксимации  $R/T$ -характеристики для всего рабочего диапазона NTC-термистора B57703M0103G017 намного превышает абсолютную погрешность полиномиальной аппроксимации для каждого из поддиапазонов при наибольшем значении погрешности в поддиапазоне  $(-55\dots -30)^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, предварительные исследования показали, что, как и в случае полиномиальной зависимости Стейнхарта-Харта, при использовании одной модели НС практически не представляется возможным обеспечить высокую точность аппроксимации  $R/T$ -характеристики на всем рабочем диапазоне температуры. Поэтому на втором этапе исследования выполняли нейросетевую аппроксимацию  $R/T$ -характеристики для выбранных семи поддиапазонов температуры NTC-термистора B57703M0103G017.

Обучение семи прямослойных НС-моделей с одним скрытым слоем, архитектурой 1:10:1, сигмоидной функцией активации нейронов и параметром точности обучения  $\text{TOL}=0,0005$  осуществляли по нормированным входным  $T$  и выходным  $R$  значениям обучающей выборки на основе алгоритмов Back Propagation и Resilient Propagation, реализованных соответственно в системе нейросетевого моделирования BrainMaker Professional 3.52 и аналитической платформе Deductor Academic 5.3. Оценку точности результатов полиномиальной и нейросетевой аппроксимации получали с использованием критериев среднеквадратической  $MSE$  (Mean Squared

Error) и относительной *MPE* (Mean Percentage Error) погрешности. Полученные меньшие значения оценок этих критериев и их стандартных отклонений для НС-моделей с алгоритмами обучения Back Propagation и Resilient Propagation позволили установить более высокую точность нейросетевой аппроксимации *R/T*-характеристики NTC-термистора B57703M0103G017 по сравнению с полиномиальной аппроксимацией.

С использованием *t*-критерия для независимых выборок исходных и аппроксимированных значений электрического сопротивления определяли значимость различий между полиномиальной моделью Стейнхарта-Харта и нейросетевыми моделями по критериям *MSE* и *MPE*. Анализ результатов сравнения аппроксимационных моделей с использованием *t*-критерия показал значимое различие между полиномиальной моделью и разработанными НС-моделями с алгоритмом обучения Back Propagation по оценкам *MSE* и *MPE* на уровне значимости  $p=0,1$  и  $p=0,01$  и алгоритмом обучения Resilient Propagation на уровне значимости  $p=0,15$  и  $p=0,12$ . Это позволило определить наиболее точную аппроксимацию *R/T*-характеристики в рабочем диапазоне температуры NTC-термистора, полученную с шагом  $5^{\circ}\text{C}$  на основе НС-моделей с использованием алгоритма обучения Back Propagation.

Для оценки свойства обобщения информации были проанализированы результаты нейросетевой и полиномиальной аппроксимации значений сопротивления как в узловых, так и в промежуточных точках рабочего диапазона температуры с шагом  $1^{\circ}\text{C}$ . С использованием *t*-критерия для независимых выборок с 98% вероятностью установлено отсутствие значимого различия между результатами аппроксимации на основе НС-модели Back Propagation и полиномиальной модели для поддиапазона  $(-55\dots-30)^{\circ}\text{C}$ , что свидетельствует об отсутствии переобучения НС-моделей, т.е. «запоминания» данных обучающей выборки.

Отсутствие переобучения НС-моделей и более высокая точность нейросетевой аппроксимации *R/T*-характеристики в узловых точках с шагом  $5^{\circ}\text{C}$  по сравнению с полиномиальной аппроксимацией подтверждают целесообразность практического применения нейросетевого моделирования при построении градуировочных характеристик NTC-термисторов.

Список литературных источников:

1. Термисторы: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://temperatures.ru/pages/termistory>.
2. NTC thermistors for temperature measurement. Probe assemblies B57703M – EPCOS AG, 2013 – 9 p.
3. Зубрецька Н. А., Федін С. С., Зубрецька І. С. Побудова градуировочних характеристик датчиків температури з використанням нейронних мереж // Вестник Інженерної академії України. – 2015. – № 1 – С. 130–136.

**Y. N. Kharlamova, postgraduate**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF GLOBAL EXTREMUMS SEEKING OF TEST FUNCTIONS BY HEAVY BALL METHOD BASED ON THE PRINCIPLE OF SYMMETRY INTERACTION BETWEEN TWO REPRESENTATIVE POINTS**

Keywords: heavy ball method, principle of symmetry, extremum of the function.

Problem formulation. While solving optimization problems exploring the extreme properties of function, the choice of the best variant among many possible ones is important. Mathematically, this can be formulated as a problem of finding the extremum of the objective function  $f(x)$ .

Literature analysis. To date, global optimization algorithms, both for the individual class of problems as well as more universal ones have been developed. To solve optimization problems the relaxation methods are used [1,2]: the steepest gradient descent method and the heavy ball method, the implementation of which is carried out with the help of non-stationary processes representing an iterative process:

$$x^{k+1} = x^k - \alpha \nabla f(x^k) + \beta(x^k - x^{k-1}), \quad \alpha > 0, \quad \beta \geq 0. \quad (1)$$

Despite the merits and great practical use, these methods have significant demerits. For example, the non-stationary processes of gradient method, over time, do not converge at the global optimum, and end in the first local extremum occurring in the path of the image point. Heavy ball method aiming at finding a global extremum copes with the task with appropriate selection of damping factor and weight of the ball if the function  $f(x)$  has a relief with a small "flicker". However with increasing amplitude of the oscillation the process of moving of the representative point also ends at the nearest local extremum.

Purpose of the article is the analysis of algorithms of seeking global extremum of test functions based on the principle of symmetry of the interaction between the two heavy balls.

Main part. The problem of extremum seeking of multiextremal function can be solved, if at the time of extremum seeking of function the concept of symmetry is used. The idea of the concept of symmetry is that two representative points are moving symmetrically, substantially reducing uncertainty interval (localization) to the extremum of function. The improvement of multivariate methods of function extremum seeking based on application of the concept of symmetry can be carried out in the following way [3,4].

Let's represent the expression of a convex function  $f(x)$  ( $x$  - vector argument), whose extremum is sought in the form:

$$f(x) = 0.5 \left( (x-x)^T Q(x-x) + f(x) + f(x) \right), \quad (2)$$

where  $Q$  is a positive definite symmetric matrix.

Then, replacing in (2) one of the vectors  $x$  by vector  $y$ , and the second vector  $x$  - by vector  $z$ , we obtain the auxiliary function:

$$F(y, z) = 0.5 \left[ (y-z)^T Q(y-z) + f(y) + f(z) \right]. \quad (3)$$

It is obvious that the extremum of function (4) will be the case when  $y=z=x^*$ , where  $x^*$  is the value of a vector argument for which the function  $f(x)$  takes the extreme value.

The movement to the minimum of auxiliary function  $F(y, z)$  is provided by the simultaneous coherent change of vector arguments  $y$  and  $z$  by any known extremum seeking algorithm.

The algorithm of the heavy ball method when working with  $F(y, z)$  has the following form:

$$\begin{aligned} y^{k+1} &= y^k - \alpha \nabla F(y^k) + \beta(y^k - y^{k-1}), \\ z^{k+1} &= z^k - \alpha \nabla F(z^k) + \beta(z^k - z^{k-1}). \end{aligned} \quad \alpha > 0, \quad \beta \geq 0$$

Let's consider how the heavy ball method based on the symmetry concept works by applying it to the three standard test functions: Ackley, Griewangk and Schwefel.

Ackley's function (Fig.1.a) has a lot of local extremums near global optimum. On the interval  $[-7; 3]$  function takes the minimum value at point  $0$ , where  $x=0$ . This function has the following description:

$$f(x) = 20 + e - 20 \cdot \exp(-0.2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}) - \exp(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i)) \quad (4)$$

According to (3) auxiliary symmetric function  $F(y, z)$  for the Ackley's function (4) will be:

$$F(y, z) = 0.5(2(20 + e) - 20 \exp(-0.2y^2) - \exp(\cos(2\pi y)) - 20 \exp(-0.2z^2) - \exp(\cos(2\pi z)) + 0.5q(y - z)^2) \quad (5)$$

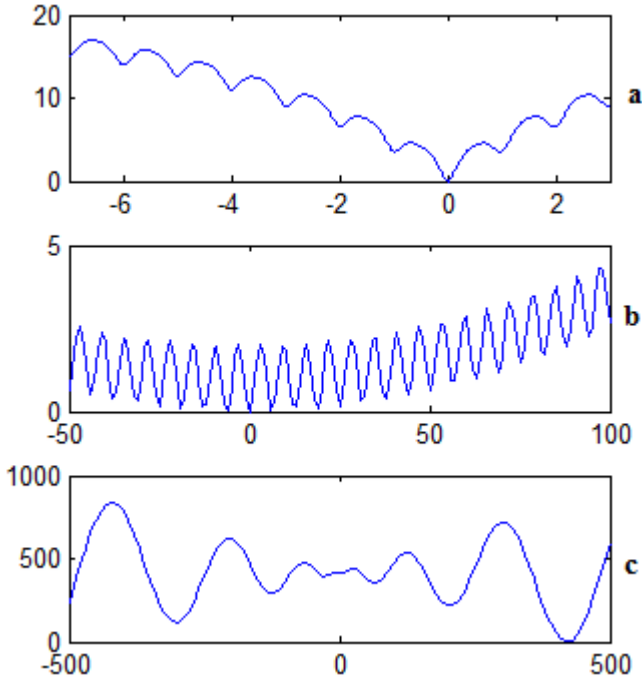


Fig. 1. **a** - Ackley's test function; **b** - Griewangk's test function; **c** - Schwefel's test function.

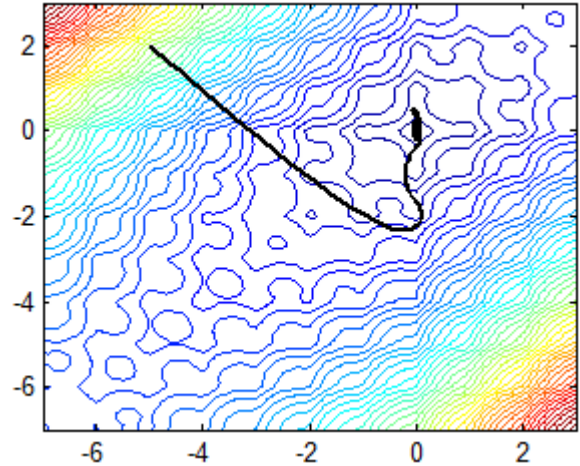


Fig. 2. Graphic illustration of Ackley's test function movement to a minimum.

To find the global extremum of the function (4) according to (5) initial data were given:  $y_1(0)=-5$ ,  $z_1(0)=2$  and the following options were selected:  $\alpha = 0.0034$ ,  $\beta \geq 0.92$  and  $q = 1.5$ . Calculated values were:  $y_1 = -0.0055661$  and  $z_1 = -0.0088691$ . Solution of the problem (4) using the usual heavy ball method according to (1) at constant values of the parameters  $m$  and  $r$  gave the following results:  $x = -4.9862$  (from the initial point  $x(0) = -5$ ) and  $x = 1.9745$  (from the point  $x(0) = 2$ .)

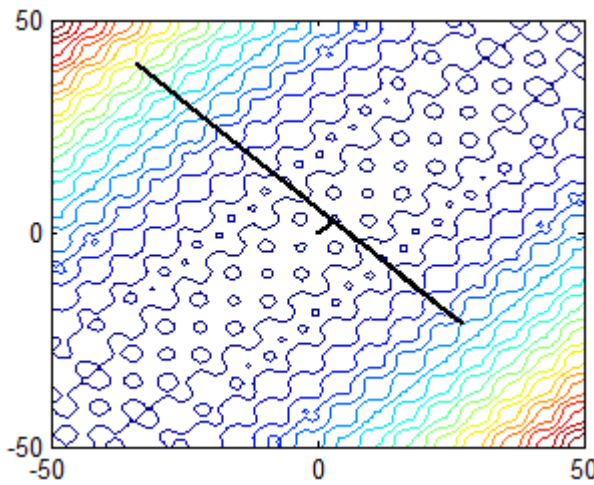


Fig. 3. Graphic illustration of Griewangk's test function movement to a minimum.

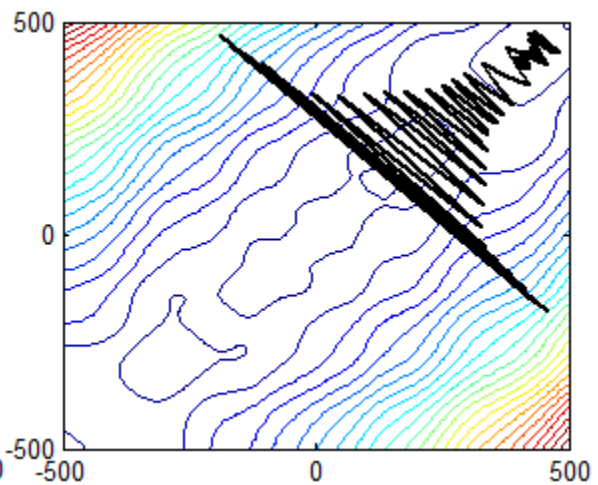


Fig. 4. Graphic illustration of Schwefel's test function movement to a minimum.

Griewangk's function (Fig.1.b) has a lot of local extremums. On the interval [-50; 100] function takes the minimum value at point 0, where  $x=0$ . This function has the following description:

$$f(x) = 1 + \sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{4000} - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right). \quad (6)$$

Auxiliary symmetric function  $F(y, z)$  for the Griewangk's function (7) will be:

$$F(y, z) = 0.5\left(2 + \frac{y^2}{4000} - \cos(y) + \frac{z^2}{4000} - \cos(z)\right) + 0.5q(y-z)^2, \quad (7)$$

To find the global extremum of the function (6) according to (7) initial data were given:  $y_I(0)=-47$ ,  $z_I(0)=53$  and the following options were selected:  $\alpha = 0.05$ ,  $\beta \geq 0.79$  and  $q = 0.009$ . Calculated values were:  $y_I = -0.00010811$  and  $z_I = -0.00011412$ . Solution of the problem (6) using the usual heavy ball method according to (1) gave the following results:  $x = -43.9603$  (from the initial point  $x(0)=-47$ ) and  $x = 50.2403$  (from the point  $x(0)=53$ ).

Schwefel's function (Fig.1.c), as well as the two above functions, has local minimums near the global optimum. On the interval [-500; 500] function takes the minimum value at point 0, where  $x=420$ . This function has the following description:

$$f(x) = 418.9829 \cdot n + \sum_{i=1}^n (-x_i \cdot \sin(\sqrt{|x_i|})). \quad (8)$$

For the Schwefel's function (9) auxiliary symmetric function will be:

$$F(y, z) = 0.5(2 \cdot 418.9829 - y \sin(\sqrt{|y|}) - z \sin(\sqrt{|z|})) + 0.5q(y-z)^2, \quad (9)$$

To find the global extremum of the function (8) according to (9) initial data were given:  $y_I(0)=-200$ ,  $z_I(0)=480$  and the following options were selected:  $\alpha = 0.4647$ ,  $\beta \geq 0.92$  and  $q = 0.025$ . Calculated values were:  $y_I = 420.2152$  and  $z_I = 420.1735$ . Solution of the problem (8) using the usual heavy ball method according to (1) from the initial point  $x(0)=-200$  did not give a positive result, representative point ended its movement at the point  $x = -124.7651$ , from point  $x(0)=480$  the point of global optimum was found with low accuracy  $x = 421.0260$ .

**Conclusions and perspectives for further research.** The paper studied the algorithm of heavy ball method, based on the principle of symmetry of the interaction between two representative points. The study results showed that for the Ackley's, Griewangk's and Schwefel's test functions, global extremum seeking of function using the classical method of the heavy ball does not give positive results. Application of the symmetry concept to the algorithm of heavy ball method gives the desired result: over time the search processes converges to the global minimum multiextremum functions. Furthermore, the presented algorithms have good workability and a sufficiently high accuracy. In this way parallelization of extremum seeking of function based on the use of the concept of symmetry applied to optimization problems in the future will allow obtaining a number of positive results for the estimation of unknown parameters of objects.

### References

1. *Bahvalov N.S.* Numerical methods (analysis, algebra, ordinary differential expressions).[In Russian] / *N.S. Bahvalov*. – Moscow: Nauka, 1973. – 632 p.
2. *Vasiliev F.P.* Numerical methods of solving extremum problems.[In Russian] / *F.P. Vasiliev*. – Moscow: Nauka, 1988. – 552 p.
3. *Korsun V.I.* Using symmetry to parallelize seeking the extremum of goal function in design optimization and adaptive identification problems [In Russian] // *Mathematical models and modern information technologies: Coll. of sc. papers of NAS of Ukraine, Institute of Mathematics*. – Kyiv: 1998. – P. 66-68.
4. *Korsun V.I.* Methods and systems of adaptive identification and control using symmetry principles.[In Russian]. / *V.I. Korsun*. – Dnipropetrovsk: Systemnitechologii. – 11997. – 130 p.
5. *Korsun V.I. Demidenko M.A.* Study of the algorithm of goal function extremum seeking based on the use of symmetry and parallel space concept. [In Russian] // *Naukovivisnyk NGAU*. – 2000. - #2. – p.101-104.

**М.М. Биков, к.т.н., проф. (Україна); А. Раїмі, PhD, проф. (Сенегал);**  
**ОЦІНКА ІНФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ З РАНГОВИМ**  
**ПАРАМЕТРИЧНИМ ОПИСОМ**

Ключові слова: параметричний простір, рангові конфігурації, кількість інформації, системи передачі, системи розпізнавання, ідентифікація образів.

Для уніфікації методів і алгоритмів представлення, передачі і обробки інформації в системах прийняття рішень з різними методами опису вхідних даних - детерміністичним, імовірнісним, нечітким, наближеним, можливісним та інш., автори в попередніх запропонували в попередніх роботах] описувати їх стани за допомогою рангових конфігурацій. При цьому для досягнення поставленої мети виникла необхідність в представленні цих конфігурацій потенціальними кодами (DRP-codes – кодами, що зберігають ранги відстаней). В роботах на прикладах розв'язання практичних задач (ідентифікація станів систем, розпізнавання образів) було показано, що використання запропонованих рангових кодів дозволяє уніфікувати алгоритми прийняття рішень в системах управління з різними методами опису вхідних даних. З іншого боку, вказані коди дозволяють значно підвищити пропускну здатність каналу передачі при такому поданні інформації, оскільки кодові слова містять інформацію як про самі стани об'єктів, так і про ранги відстаней між ними. Під час впровадження практичних застосувань розробленої теорії виникла проблема оцінки інформаційних характеристик розроблюваних систем з ранговим параметричним описом. В даній роботі автори пропонують визначати інформаційні характеристики таких систем відповідно до їх призначення.

У випадку застосування рангових описів об'єктів в системах передачі інформації запропоновані такі характеристики, як кількість інформації і інформаційна ємність. Кількість інформації  $I_T$  визначає інформативну здатність джерела і визначається як

$$I_T = \log_2 \left( \frac{m(m-1)}{2} \right),$$

де  $m$ - кількість кодованих об'єктів (різних кодових слів).

Під інформаційною ємністю  $DRP$  коду  $I_C$  розумітимемо відношення кількості  $Q_r$  прийнятих інформаційних слів до кількості  $Q_T$  переданих кодових слів:

$$I_C = \frac{Q_r}{Q_T} = \frac{m + K_m \cdot n}{m \cdot K_m},$$

де

$$n = \frac{m(m-1)}{2} -$$

кількість рангів в конфігурації, яка і визначає розрядність коду.

Наприклад, для передачі  $DRP$ -кодом 30 різних рангових конфігурацій чотиривимірного симплексу необхідно передати  $Q_T = 4 \times 30 = 120$  слів, з яких можна добути  $Q_r = 4 + 30 \cdot 6 = 184$  інформаційних слова, звідки  $I_C = 184/120 \approx 1,53$ .

В задачах ідентифікації образів важлива інформація пов'язана з рангами відстаней усіх точок (елементів системи) до цільової точки. Для "розфарбованої" конфігурації кількість інформації  $I_I$  залежить від кількості можливих перестановок рангів  $m!$  і визначиться, як:

$$I_I = \log_2 (m!).$$

В задачах розпізнавання методом динамічного програмування і подібних задачах оптимізації [5] кількість інформації залежить від кількості різних шляхів досягнення цільової точки. Чим більше шляхів, тим більша невизначеність результату. Як відомо, якщо порівнюється послідовність символів  $m$  з послідовністю  $p$ , то кількість різних шляхів пропорційна  $m \times p$ , отже, кількість інформації  $I_R$  в даному випадку визначиться, як

$$I_R = \log_2 (m \times p).$$



**СЕКЦІЯ 2 (SECTION 2)**  
**Первинні вимірювальні перетворювачі. Прилади і**  
**методи контролю та діагностики**  
**(Primary transducers and sensors. Devices and**  
**methods of control and diagnostics)**

**О.М. Возняк, к.т.н., доцент; В.К. Тихонов, доцент; В.П. Кулик, студент**

## **АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ЄМНОСТІ АКУМУЛЯТОРІВ**

Ключові слова: ємність акумулятора, залишкова ємність, імпеданс.

В процесі експлуатації акумуляторів часто виникає необхідність вимірювати їх залишкову ємність (ступінь розрядженості). Приладів для вимірювання ємності акумуляторів промисловість не випускає, тому, що сам термін «експлуатаційна ємність» містить в собі невизначеність через те, що визначається вимогами експлуатації. Також, в процесі експлуатації апаратури, енергопостачання якої забезпечується електричним акумулятором, бажано, а в багатьох випадках необхідно, знати залишкову ємність акумулятора для того, щоб прогнозувати можливість подальшої роботи апаратури, що живиться від акумулятора, або прийняти рішення про зарядку цього акумулятора.

Найбільш поширеним і найбільш простим методом кількісної оцінки залишкової ємності акумулятора є вимірювання напруги на його клеммах в умовах розімкнутого ланцюга, або вимірювання напруги на клеммах при протіканні постійного струму навантаження. Цей спосіб заснований на тому, що для акумуляторів багатьох електрохімічних систем напруга розімкнутого ланцюга знижується по мірі розряду, та існує однозначна залежність між цими величинами. Недоліком відомого методу є те, що він не може бути застосований для визначення залишкової ємності літій-іонних акумуляторів у яких позитивний електрод виготовлений з литированного фосфату заліза (феррофосфату літію). Характерна особливість феррофосфату літію полягає в тому, що потенціал такого електрода практично не змінюється до самого кінця розряду, а в кінці розряду відбувається різке зміщення потенціалу в негативну сторону. В результаті цього, розрядна крива акумулятора з таким позитивним електродом майже завжди є горизонтальною прямою. Різка зміна (зниження) напруги настає після зняття 90 - 95 % ємності, що виключає моніторинг ступеня розрядженості з вимірювання напруги розімкненого ланцюга.

Широке поширення отримав метод визначення залишкової ємності літійєвих акумуляторів по зміні їх внутрішнього опору.

Відомий метод визначення залишкової ємності первинного елемента з анодом з металевого літію, згідно з яким вимірювання внутрішнього опору проводиться в два етапи: спочатку на елемент подається навантаження, а потім проводиться вимірювання електрохімічного імпедансу в широкому діапазоні частот. Аналіз частотної залежності імпедансу і її порівняння з калібрувальною кривою дозволяють оцінити залишкову ємність елемента. Даний спосіб відрізняється складністю здійснення, громіздкістю застосованої вимірювальної апаратури і не може застосовуватись для визначення залишкової ємності літій-іонних акумуляторів.

Також відомий метод визначення залишкової ємності нікель-металгідридних акумуляторів, в яких вимірюється значення напруги і струму розряду і за цим значенням визначається внутрішній опір акумулятора. Потім, за допомогою спеціального пристрою (вбудований калькулятор), розраховується похідна від внутрішнього опору за зарядною ємністю, де залежність внутрішнього опору від зарядної ємності має максимум. Таким чином, в даному випадку не вимірюється залишкова ємність акумулятора в довільному стані, а лише визначається наближення до закінчення заряду.

Отже, проаналізувавши сучасні методи вимірювання ємності виникає питання: «Яким приладом можна виміряти ємність акумулятора?». Відповідь проста: «Не розряджаючи його – ніяким». Ця проблема сьогодні як слід не вирішена. Існують деякі спроби пристосувати різні ефекти, але вони не дуже вдалі. А якщо розряджати – то найкраще використовувати спеціальний стенд або потенціостат щоб заряджати стабільним струмом.

Список літературних джерел:

1. Н.В. Коровина, А.М. Скундина «Хімічні джерела струму: Довідник» // М.: Видавництво МЕІ, 2003, 740 с.

**О.О. Антонюк, аспірант; Є.В. Походило, д.т.н., професор**

## **ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ НЕІНВАЗИВНИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ ІМПЕДАНСОМЕТРІЇ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Ключові слова: біологічні тканини, електричний струм, імпеданс, локалізація вимірювання, медична діагностика, неінвазивні сенсори.

Для реалізації біоімпедансного аналізу використовують два типи сенсорів: як інвазивні, так і неінвазивні [1]. У випадку дослідження сегментів тіла людини чи локальних ділянок, найчастіше вдаються до неінвазивних сенсорів різної конфігурації. Наприклад, при діагностиці стану відносно вузької ділянки біологічних тканин використовують сенсори, що закріплені на гнучкій стрічці, зокрема браслеті або манжеті [2], проте цей спосіб застосовується для дослідження м'яких тканин. Також для аналізу м'яких тканин (верхніх шарів шкіри) використовують коаксіальні сенсори [1], а для дослідження кісткової тканини – електроди, що закріплені на круглій діелектричній основі [3]. Перевагою зазначених видів конфігурації сенсорів є зменшення похибки вимірювання параметрів імпедансу шляхом збільшення контакту з досліджуваною ділянкою біологічної тканини. Разом з тим, у медичній діагностиці використовують також прості за виконанням накладні плоскі сенсори, що дозволяють збільшити площу сегментів досліджуваних тканин [4]. Саме тому актуальним є розгляд особливостей використання накладних сенсорів.

В процесі вимірювання параметрів біологічних тканин з допомогою накладання сенсорів виникає ряд методичних похибок. Одним з джерел методичної похибки є поганий контакт сенсорів з біологічною тканиною. Для усунення цієї проблеми використовують 0,9% фізіологічний розчин, який наносять безпосередньо на поверхню сенсора [1]. Для усунення впливу приелектродних ефектів на результат вимірювання використовують чотиризапискову схему під'єднання, в якій одна пара сенсорів потенціальна, а інша – струмова [5].

При проведенні імпедансного аналізу біологічних об'єктів також потрібно враховувати як розміри сенсора, так і міжелектродну відстань та розташування, що впливає на форму і глибину проходження силових ліній електричного поля [4]. При збільшенні площі поверхні сенсора збільшується глибина проходження силових ліній. Аналогічний результат спостерігається при збільшенні відстані між сенсорами відносно менших розмірів.

Неоднозначність вимірювання, що реалізується з допомогою накладних сенсорів зумовлена також викривленням силових ліній електричного поля, які проходять через досліджуваний об'єкт, що унеможливує локалізацію дослідження. З метою підвищення точності локалізаційних вимірювань параметрів імпедансу біологічних тканин пропонується ввести додатковий охоронний електрод, що оточує один із двох робочих електродів накладного сенсора.

Отже, при використанні накладних сенсорів для реалізації біоімпедансних вимірювань потрібно враховувати розміри сенсорів, відстані між ними, забезпечення належного контакту з біологічною тканиною та усунути вплив краєвих ефектів, зумовлених викривленням силових ліній електричного поля.

Список літературних джерел:

1. Ulrik Birgerson, *Electrical Impedance of Human Skin and Tissue Alterations: Mathematical Modeling and Measurements*. Stockholm: Karolinska Institutet, 2012.
2. Пат. 2519955 RU, МПК [A61B5/053](#) Измерение электрической проводимости или сопротивления части тела [Текст] / Мисюченко И. Л., Рубин М. С., Соколов Е. Л. ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Хилби". - №2012155821/14; заявл. 17.12.2012; опубл. [20.06.2014](#), Бюл. №17, 2014 р.
3. Пат. 82362 UA, МПК A61B 5/05 (2013.01) A61K 50/00 (2006.01) Електродний пристрій для тетраполярної імпедансометрії біологічних об'єктів [Текст] / Березовський В. Я., Левашов М. І., Сафонов С. Л. ; заявник Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця НАНУ. - №u201302747; заявл. 05.03.2013; опубл. 25.07.2013, Бюл. №14, 2013 р.
4. Sverre Grimnes, Ørjan G. Martinsen, *Bioimpedance*. Oslo, Norway: University of Oslo, 2010.
5. Герасим М. Р. Вимірювальні перетворювачі параметрів контактних ємнісних сенсорів / М. Р. Герасим, Є. В. Походило, О. М. Нечай // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Сер. : Автоматика, вимірювання та керування. - 2013. - № 753. - С. 15-19. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/VNULP\\_2013\\_753\\_5.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/VNULP_2013_753_5.pdf).

**І.С. Петришин, д.т.н, проф., Т.І. Присяжнюк, к.т.н., О.А. Бас, к.т.н.**

## **РОЗРОБЛЕННЯ ПРОБОВІДБІРНИКА ПОРШНЕВОГО ТИПУ ДЛЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ З ТРУБОПРОВОДІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ В ПОБУТОВОМУ СЕКТОРІ**

Ключові слова: поршневий пробовідбірник, балон-пробовідбірник, природний газ, низький надлишковий тиск, представницька проба

В ситуації, що склалась щодо цінової політики за оплату комунальних послуг населення, в тому числі такого енергоносія як природний газ, першочерговим завданням газопостачальних (газозбутових) організацій є забезпечення його кількісних та якісних показників. Нарікання населення на його теплотворну здатність (калорійність) є небезпідставним, у першу чергу в зв'язку з тим, що в газовій мережі надходить природний газ із різних джерел: з газотранспортних магістралей, підземних газових сховищ, газовидобувних родовищ тощо і його калорійність може змінюватись в широких межах. Відповідно, для опалення однакових приміщень або підігріву води в них може витратитись його різний об'єм, адже газу з нижчим значенням теплотворної здатності необхідно спожити більше.

Слід відзначити, що в Україні затверджений в установленому порядку і діє від 12 січня 2015 р відповідний «Порядок відшкодування збитків, завданих споживачеві природного газу внаслідок порушення газопостачальним підприємством Правил надання населенню послуг з газопостачання» [1]. Згідно цього документу споживач має право звернутися з відповідною скаргою щодо неякісного постачання природного газу і отримати певну компенсацію. Газопостачальне підприємство зобов'язане забезпечити проведення перевірки величини надлишкового тиску та/або якісних показників газу відповідно до вимог цього порядку. Величина надлишкового тиску газу перевіряється перед газовими приладами споживача в години максимального його споживання. Мінімальний надлишковий тиск газу перед газовими приладами, пристроями повинен становити не менше мінімально допустимого значення, що передбачено нормативними документами та нормативно-технічними актами на газоспоживаючі прилади (пристрої). Якщо надлишковий тиск газу або його якісні характеристики менші, ніж величина мінімально допустимого значення, що зазначається у нормативних документах та нормативно-технічних актах на газоспоживачі прилади, плата за газопостачання з дня подання заяви до дня відновлення подачі газу з надлишковим тиском та якісними характеристиками, більшими від мінімально допустимого, не здійснюється.

За технічними угодами між газотранспортними (газовидобувними) та газопостачальними організаціями регулярно здійснюється відбір проб газу для оцінки його якісних показників в акредитованих відомчих лабораторіях ПАТ «Укртрансгаз» або газорозподільних організацій. Як правило, відбір проб здійснюється типовими пробовідбірниками на спеціально обладнаних для такої цілі дільницях газорозподільних станцій (ГРС) чи газорозподільних пунктах (ГРП). Разом з тим, при транспортуванні газу місцевими мережами безпосередньо до населення, його якісні показники можуть суттєво змінюватися, особливо його теплота згоряння. Адже не секрет, що в «години пік», коли кондиційного газу не вистачає або його потрібно зекономити, газозбутові організації мають змогу закачувати низькокалорійний, технологічно не підготовлений газ з місцевих родовищ з підвищеною вологістю, наявністю в ньому негорючих компонентів таких як азот  $N_2$  чи вуглекислий газ  $CO_2$ , парів етиленгліколю і метанолу, які застосовують в установках підготовки газу для попередження утворення гідратних пробок або ж змінювати параметри роботи газопроводів, особливо ця процедура має зміст при зниженні надлишкового тиску. Крім того, відібрана безпосередньо у споживача проба газу буде представницькою, так як в подальшому для аналізування вона не повинна проходити відповідну підготовку в тому числі і осушування, як це передбачено [2]. Таким чином реальна теплота згоряння газу, відібраного для аналізування безпосередньо у споживача, не буде відповідати задекларованій газотранспортною чи газопостачальною організацією.

Відповідно постає серйозна об'єктивна потреба кваліфікованого відбору проби газу у споживача. Зокрема в [3] відзначено проблему відсутності технічної можливості проведення вимірювання фактичного значення теплоти згоряння безпосередньо у кінцевого споживача. Слід відзначити, що на ГРС та ГРП є спеціально обладнані місця на трубопроводах з передбаченою

можливістю здійснення відбору проби газу за допомогою типового балона-пробовідбірника. У споживача ж здійснити відбір проби аналогічним способом доволі складно з декількох об'єктивних причин. По-перше, необхідно здійснювати втручання у систему трубопроводів постачання газу, тобто встановлювати пробовідбірник послідовно із газоспоживаючим обладнанням, по-друге, в газопроводах для подачі газу в комунально-побутову сферу, тобто населенню, передбачений тільки низький надлишковий тиск з максимальним значенням 3 кПа [4], а на вхід хроматографічного обладнання для адекватного проведення аналізу компонентного складу, газ необхідно подавати при значно більшому надлишковому тиску.

Після проведеного аналізу існуючих способів здійснення відбору проби газу у споживача встановлено, що для газопроводів з низьким надлишковим тиском в переважній більшості використовують пробовідбірники двох типів: скляна колба та балон з рухомих поршнем [5]. Застосування скляної колби як пробовідбірника передбачає обережне поводження з ним та певні обмеження при проведенні відбору проби газу у побутового споживача, крім того в цілому його застосування не вирішує проблему низького надлишкового тиску в пробовідбірнику. В ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» на онові типового пробовідбірника – балона з рухомих поршнем, розроблена конструкція універсального пробовідбірника з можливістю його застосування для газопровідних мереж з різним значенням надлишкового тиску. Розроблення такого універсального пробовідбірника спеціальної конструкції має на меті здійснення відбору представницької проби газу безпосередньо у споживача та забезпечення споживачів від недостовірного обліку та неякісного постачання енергоресурсів. На рис. 1 представлено схематичне зображення поршневого пробовідбірника.

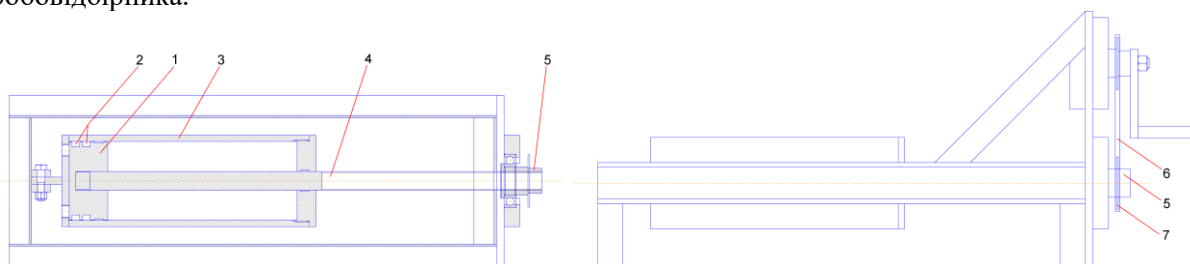


Рис. 1 – Схематичне зображення поршневого пробовідбірника

Конструктивно пробовідбірник є гідравлічним циліндром односторонньої дії. Його конструкція передбачає використання поршневого розділювача 1 з ущільненням у вигляді двох манжет 2 пневматичного принципу дії для забезпечення герметичності та відсутності перетоків газу, який переміщується в циліндрі 3 з внутрішньою хонінговою поверхнею. Шток 4 поршневого розділювача виконаний із суцільного вала з полірованою зовнішньою поверхнею тієї частини, яка знаходиться в циліндрі і з різьбовою гвинтовою канавкою з протилежної частини. При цьому переміщення штоку 4 із поршнем 1 здійснюється з використанням механічної передачі гвинт – гайка кочення 5. Привід гайки кочення 5 виконаний у вигляді ланцюгової передачі 6, відома зірочка 7 якої закріплена на гайці кочення 5.

Для поршневого пробовідбірника розроблена методика проведення відбору та накопичення кількості проби газу. На рис. 2 представлена схема проведення відбору проби у споживача з газопроводу низького надлишкового тиску.

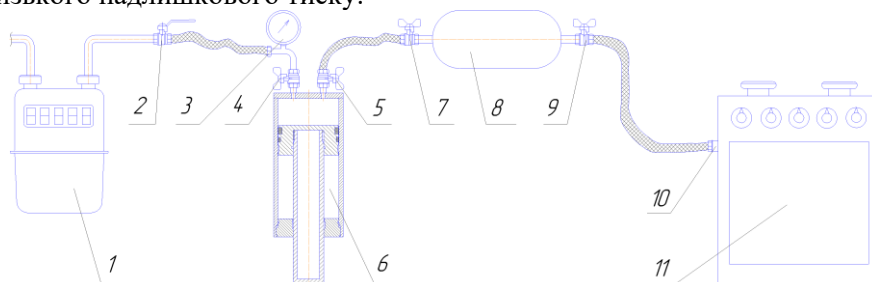


Рис. 2 – Схема проведення відбору проби у споживача з газопроводу низького надлишкового тиску  
1 – лічильник газу; 2, 4, 5, 7, 9 – вентилі; 3 – манометр; 6 – поршневий пробовідбірник (балон з рухомих поршнем); 8 – балон-пробовідбірник; 10 – штуцер під'єднання газоспоживаючого обладнання; 11 – газоспоживаюче обладнання

Для здійснення відбору проби газу у споживача комунально-побутової сфери необхідно від'єднати газоспоживаюче обладнання від газової мережі, вентиль 2 при цьому необхідно встановити у закрите положення і від'єднати від нього гнучкий шланг, який закріплений на штуцері 10 газоспоживаючого обладнання. Наступним етапом буде послідовне встановлення поршневого пробовідбірника 6 і балона–пробовідбірника 8 в газову мережу. Після монтажу пробовідбірників всі вентиля системи встановлюються у відкрите положення і здійснюють перевірку герметичності системи. Разом з тим, слід відзначити перевагу послідовного встановлення пробовідбірників, в систему, за необхідності проведення аналізу в кількох незалежних лабораторіях або здійснення відбору арбітражної представницької проби, можна додатково встановити ще один балон–пробовідбірник, який в присутності операторів газопостачальної організації та споживача газу опломбовують відповідним чином.

Після під'єднання системи відбору проби проводять операцію технологічного продування для видалення залишків повітря і послідовного спалювання газу в пальнику газоспоживаючого обладнання. Наступним етапом проводиться безпосередній відбір проби газу. На протязі проведення процедури відбору проби газу здійснюється безперервний контроль надлишкового тиску газу з використанням манометра 3. Для наповнення поршневого пробовідбірника 6, шток за допомогою приводу відводять у крайнє нижнє положення (рис. 2), яке інформує про те, що циліндр пробовідбірника повністю заповнений газом. В процесі заповнення циліндра здійснюється самовільне заповнення балона 8 газом з тиском, рівним тиску мережі. Далі вентиля 4 і 9 переводять у закритє положення і приводом штока здійснюють нагнітання об'єму газу з циліндра поршневого пробовідбірника 6 у балон–пробовідбірник 8. Після проведення етапу заповнення балона–пробовідбірника додатковим об'ємом газу з циліндра, вентиля 5 і 7 встановлюються в закритє положення і балон 8 можна: або від'єднати від системи (замінити) або повторити процедуру нагнітання для збільшення надлишкового тиску. У разі від'єднання балона 8, необхідно гнучкий шланг від вентиля 5 приєднати до газоспоживаючого обладнання. Після під'єднання, вентиля 4 і 5 встановлюють у відкрите положення і здійснюють повторне заповнення поршневого пробовідбірника газом з мережі. Останнім етапом методики проведення відбору проби газу вентиля 2, 4 і 5 переводять у закритє положення і від'єднують пробовідбірник від газової мережі. Гнучкий шланг від вентиля 2 приєднують до газоспоживаючого обладнання. Поршневий та балон–пробовідбірники транспортують у лабораторію для проведення аналізу складу газу і визначення теплоти згорання та інших параметрів за необхідності. Для проведення аналізу необхідно за допомогою вузла приводу витіснити газ з циліндра поршневого пробовідбірника.

Висновки. Зважаючи на необхідність проведення кваліфікованого відбору проби природного газу в кінцевого споживача, тобто в комунально-побутовій сфері, в трубопроводах з низьким надлишковим тиском. В ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» розроблений спеціалізований пробовідбірник поршневого типу для здійснення відбору представницької проби газу безпосередньо у споживача згідно розробленої методики (рис. 2) та проведення подальшого аналізу.

Список літературних джерел:

1. Порядок відшкодування збитків, завданих газопостачальному або газорозподільному підприємству внаслідок порушення споживачем природного газу [Правил надання населенню послуг з газопостачання](#), а також споживачеві природного газу внаслідок порушення газопостачальним або газорозподільним підприємством Правил надання населенню послуг з газопостачання: Постанова № 184 – [Чинний від 2015-01-12]. – Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, 2015.

2. Природний газ. Розширений аналіз. Метод газової хроматографії (ISO 6975:1997, IDT): ДСТУ ISO 6975:2012. – [Чинний від 2013-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2012. – 24с.

3. Андріішин М.П. Вплив фізико-хімічних показників газу на ефективність роботи газових приладів / М. Андріішин, Р. Домницький, С. Дехтярук, М. Гладішевський, А. Едель // Нафтогазова галузь України. – 2014. – № 6. – С. 34 – 39.

4. Державні будівельні норми України. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Газопостачання: ДБН В.2.5-20-2001 – [Чинний від 2001-08-01]. – К.: Держбуд України, 2001. – 131с.

5. Природний газ. Настанови щодо відбирання проб (ISO 10715:1997, IDT): ДСТУ ISO 10715:2009. – [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 36с.

**В. В. Присяжнюк, старший викладач; В. М. Коробка, студент**

## **ПРИЛАД ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО ВИМІРЮВАННЯ ЗМІНИ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ**

Ключові слова: атмосферний тиск, барограф, барометр, мікроконтролер, датчик атмосферного тиску.

В ряді галузей науки, і особливо в метеорології, потрібні точні дані про величину атмосферного тиску. Прилад, що використовуються для безперервної реєстрації тиску повітря є барограф. Це той же барометр-анероїд, який може записувати чорнильною лінією значення тиску за певний період (зазвичай, тиждень) на паперову стрічку, обгорнуту навколо барабана з годинниковим механізмом[1].

Однак, на сьогоднішній час механічні барографи є не ефективними у використанні це зумовлено конструкцією барографа яка є чутливою при експлуатації, тобто реєстрування атмосферного тиску повітря на бумажній стрічці, нанесення якого здійснюється чорнильним пером, при дії сторонніх факторів, прилад здійснює недостовірний запис інформації, а також займає багато часу при перенесенні даних на комп'ютер для обробки інформації.

І тому необхідно відзначити, що в останнє десятиліття на ринку з'явилися електронні барометри різних розмірів і точності. Є, навіть, барометри і барографи, вмонтовані в ручний годинник. Одні з них працюють за принципом звичайного анероїда, але без механічної системи важелів, вимірюючи зміну ємності електричного конденсатора[2].

І тому для покращення ефективності даного приладу, можна запропонувати електронний барограф на основі мікроконтролера і датчика атмосферного тиску.

Датчики атмосферного тиску мають найбільш оптимальні технічні характеристики, помірну ціну та простоту у використанні. Областю застосування є метеорологія, барокамери, теплиці. Датчики атмосферного тиску побудовані на основі певного сенсорного елемента, виконаного у вигляді інтегральної схеми.

Датчики складаються з інтегрального чуттєвого елемента (сенсора), що живляться від вбудованого стабілізатора напруги, і повторювача напруги який необхідний для ослаблення електромагнітних перешкод, виключення впливу опору навантаження і сполучної лінії на результати вимірів.

Основним призначенням мікроконтролера – використання в системах автоматичного управління, вбудованих в самі різні пристрої. При цьому напруга, пропорційна вимірюваному параметру, попередньо перетворюється в цифровий еквівалент – багато розрядний двійковий код. По завершенні цієї операції мікроконтролер отримує від аналого-цифрового перетворювача (АЦП) сигнал готовності передати йому результат у паралельному або послідовному вигляді. Аналого-цифрове перетворення реалізовано програмно. Записана інформація може бути передана в комп'ютер через HDMI-кабель, USB-кабель та іншими методами, і використана, наприклад, для побудови графіка висоти польоту[3].

Список літературних джерел:

1. Азнаурян І.О. Фізика та фізичні методи дослідження: Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2008. – 250 с.
2. Кучерук І.М. Загальний курс фізики: Навч. посібник для студ. вищих техн. і пед. закладів освіти. В 3 т. Навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. Т.1. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. /За ред. І.М.Кучерука. – К.: Техніка, 2000. – 532 с.
3. Азнаурян І.О. Фізика та фізичні методи дослідження: Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2008. – 250 с.

П.І.Кулаков, к.т.н., доцент; У.С.Мельничук, студент

## ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ РІВНЯ МОЛОКА У МОЛОКОПРИЙМАЛЬНІЙ КАМЕРІ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТУ НА ОСНОВІ МАГНІТОАКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Ключові слова: вимірювальний перетворювач рівню молока, інтенсивність молоковіддачі, молокоприймальна камера, магніторезистор.

На стійловій доїльній установці важливим завданням є забезпечення управління процесом доїння, яке вирішується на основі вимірювання миттєвої інтенсивності молоковіддачі, її високоточне вимірювання для цього не потрібно. Виходячи з цього, виникає необхідність розробки спеціалізованих вимірювальних перетворювачів рівню молока у молокоприймальній камері доїльного апарату для стійлової доїльної установки, за допомогою яких можливе забезпечення управління процесом доїння та отримання інформації про певні параметри біотехнічної системи доїння. Розглянемо запропонований перетворювач рівню молока [1], принцип дії якого полягає у наступному. Молоко з колектора доїльного апарату всмоктується через піновідділювач до молокоприймальної камери. У молокоприймальній камері, в герметичній трубці, у вертикальному напрямку, один за одним розташовані магнітоактивні елементи, які уявляють собою елементи Хола або магніторезистори. В процесі доїння, рівень молока в камері збільшується, в результаті, поплавком з магнітом змінює своє вертикальне положення у відповідності з рівнем молока. Пороговий рівень, при якому здійснюється скидання молока, встановлюється в залежності від інтенсивності молоковіддачі. Коли певний магнітоактивний елемент знаходиться в безпосередній близькості від магніту з поплавком, змінюються його параметри (у магніторезистора змінюється опір, у елементу Хола – вихідна напруга). Вихідні параметри усіх елементів, за допомогою відповідних перетворювачів, трансформуються у логічні рівні. Рівень молока у молокоприймальній камері, при використанні розглянутого перетворювача, визначається виразом

$$H_{Mj} = \begin{cases} (k_{LM} - 1)h_{LM}, \sum_{i=1}^{N_{LM}} n_i = 1; \\ \left(k_{NM} - \frac{1}{2}\right)h_{LM}, \sum_{i=1}^{N_{LM}} n_i = 2, \end{cases} \quad (1)$$

де  $k_{LM}$  - номер біту коду  $N_{HM}$ , який знаходиться в стані логічної одиниці, коли в активному стані знаходиться тільки один елемент;  $k_{NM}$  - номер того з двох бітів коду  $N_{HM}$ , що знаходяться в стані логічної одиниці при активному стані двох елементів, який має менше значення[2].

Список літературних джерел:

1. Пристрій для вимірювання кількості молока для переносного доїльного апарату [Текст] : Патент на корисну модель 97209 Україна: G01M 1/22 / Кучерук В. Ю., Паламарчук Є. А., Кулаков П. І., Гнесь Т. В. ; заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет; заявл. 20.06.2014 ; опубл. 10.03.2015, Бюл. № 5. - 4 с.

2. Засіб вимірювання рівню молока для переносного доїльного апарату стійлової установки. Східноєвропейський журнал передових технологій № 69. В. Ю. Кучерук, Є.А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т.В. Гнесь, 2014. -16 с.



**П.І.Кулаков, к.т.н., доцент; Р.С.Білієнко, студент**  
**ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ МИТТЄВОЇ**  
**ІНТЕНСИВНОСТІ МОЛОКОВІДДАЧІ**

Ключові слова: фотоелектричний вимірювальний перетворювач, інфрачервоне випромінення, операційний підсилювач, мікроконтролер.

При прив'язному утриманні, на стійлових доїльних установках, індивідуальний удій та інші зоотехнічні параметри тварин як правило не вимірюються. У цьому випадку, 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, принцип дії якого полягає у наступному [1].

Він складається з двох джерел інфрачервоного випромінення, які знаходяться з однієї сторони його трубки, двох фотоприймачів та основні пари фотодіод – операційний підсилювач, які знаходяться на протилежній стороні трубки, двох порогових пристроїв з великим значенням гістерезису, мікроконтролера. Молоко, яке протікає через трубку, завжди має пухирі повітря. При проходженні через трубку молока з піною, потік інфрачервоного випромінення проходить крізь певний пухир повітря і потрапляє на перший фотоприймач, його вихідна напруга збільшується, за допомогою порогового пристрою вона порівнюється з опорною напругою. Після цього, вищевказаний пухир повітря, рухаючись разом з молочним потоком, проходить навпроти іншого фотоприймача, внаслідок цього його вихідна напруга збільшується, пороговий пристрій порівнює цю напругу з опорною.

За допомогою мікроконтролера здійснюється вимірювання часового інтервалу  $T_{MP}$  між передніми фронтами вихідних імпульсів порогових пристроїв. Цей часовий інтервал відповідає проходженню пухирем повітря відстані  $l_{MP}$  між двома фотоприймачами. Об'єм  $i$  - тої порції молока, яка відповідає проходженню пухирем повітря відстані  $l_{MP}$ , визначається за виразом

$$V_{MP i} = \frac{\pi D_{MP}^2}{4} l_{MP}, \quad (1)$$

де  $D_{MP}$  – діаметр трубки давача інтенсивності молоковіддачі.

Відповідно, миттєва інтенсивність молоковіддачі під час проходження  $i$  - того пухиря повітря, визначається виразом [2].

$$I_{MV i} = \frac{V_{MP}}{T_{MP i}} = \frac{\pi D_{MP}^2}{4 T_{MP i}} l_{MP}. \quad (2)$$

Список літературних джерел:

1. Кучерук, В. Ю. Датчик інтенсивності молоковіддачі переносного доїльного апарату для стійлового молокопроводу [Текст] / В. Ю. Кучерук, П. І. Кулаков, Є. А. Паламарчук, Т. В. Гнесь // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – №3. – с. 44 - 48.
2. Кучерук В.Ю. Пристрій для вимірювання кількості молока та інтенсивності молочного потоку / В.Ю.Кучерук, Є.А.Паламарчук, П.І.Кулаков, Т.В.Гнесь // Патент на корисну модель №92637. Бюлетень №16 від 26.08.2014.

**П.І.Кулаков, к.т.н., доц.; Т.В.Гнесь, аспірант**  
**ВИМІРЮВАННЯ ВІДНОСНОЇ МАСОВОЇ ЧАСТКИ МОЛОКА**  
**У ВОДНО-МОЛОЧНОМУ РОЗЧИНІ**

Ключові слова: стійлова доїльна установка, водно-молочний розчин, інфрачервоне випромінювання, фотоприймач.

У кожного дояра, на стійлових доїльних установках, є ємність з водою, яка необхідна для підготовки тварин до доїння. Дуже часто трапляються випадки, коли дояр за допомогою доїльного апарата всмоктує цю воду в молокопровід з метою підвищення показників удою, від яких залежить його заробітна плата. Виявити ці випадки візуально дуже складно, тому як відрізнити водно-молочний розчин від чистого молока людське око не може. Виходячи з цього, створення методики оперативного вимірювання відносної масової частки молока у водно-молочному розчині є важливим та актуальним завданням.

У відповідності з [1], вихідна напруга фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач, у першому наближенні визначається виразом

$$U_F = IS_{I_0}(\lambda)R_{ZZ}S_{VD}, \quad (1)$$

де  $I$  - інтенсивність оптичного випромінювання;  $S_{VD}$  - площа фоточутливого шару фотодіоду;  $S_{I_0}(\lambda)$  - спектральна чутливість фотодіоду;  $R_{ZZ}$  - опір в колі зворотного зв'язку операційного підсилювача.

Залежність вихідної напруги фотоприймача на основі пари фотодіод – операційний підсилювач від відносної масової частки молока у водно-молочному розчині.

$$U_F(\eta) = I_0 S_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} S_{VD} \cdot 10^{\frac{d\rho_M \rho_V \left( k_M(\lambda) + k_V(\lambda) \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) \right)}{\rho_V + \rho_M \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)}}, \quad (2)$$

де  $k_M(\lambda)$  - коефіцієнт екстинкції молока;  $k_V(\lambda)$  - коефіцієнт екстинкції води;  $\rho_M$  - щільність молока;  $\rho_V$  - щільність води;  $\eta$  - відносна масова частка молока у водно-молочному розчині.

Вирішивши рівняння (2) відносно  $\eta$ , отримуємо вираз, який зв'язує відносну масову частку молока у водно-молочному розчині з вихідною напругою фотоприймача на основі пари фотодіод - операційний підсилювач

$$\eta = \frac{\rho_M \lg \frac{U_F(\eta)}{I_0 S_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} S_{VD}} + d\rho_M \rho_V k_V(\lambda)}{(\rho_M - \rho_V) \lg \frac{U_F(\eta)}{I_0 S_{I_0}(\lambda) R_{ZZ} S_{VD}} + d\rho_M \rho_V (k_V(\lambda) - k_M(\lambda))}. \quad (3)$$

На основі залежності (3) можлива реалізація засобу вимірювального контролю наявності води у молоці в процесі доїння на стійлових доїльних установках з метою виявлення фактів фальсифікації молока доярами.

Список літературних джерел:

1. Кучерук, В. Ю. Фотоелектричне вимірювальне перетворення площа-напруга [Текст] / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь, Ю. Є. Блохін // Міжнародний науково-технічний журнал "Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології". - 2014. - № 1 (27). - с. 139 - 145.

Й.Й. Білинський, д.т.н., проф.; І.В. Сухоцька, аспірантка

## ЗАСІБ КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МАЛОГАБАРИТНИХ ОБ'ЄКТІВ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

Ключові слова: субпіксельні координати, малогабаритні об'єкти, об'єкти складної форми, контроль, геометричні параметри, засіб контролю геометричних параметрів, щуп.

Візуально-вимірювальний контроль є одним із найефективніших способів визначення геометричних параметрів досліджуваних об'єктів, і як наслідок виявлення їх дефектів. Найбільш оптимальними на сьогодні є засоби, що поєднують переваги електронно-оптичних двох координатних систем, а саме оптичного мікроскопа та контактного методу. За їх допомогою можна контролювати розміри малогабаритних елементів деталей та деталей складної форми. Крім цього вони мають можливість доступу до елементів деталей у важкодоступних місцях [1,2].

Відомо, що особливістю зображень малогабаритних деталей складної форми є досить велика розмитість та низька контрастність за рахунок неможливості повної фіксації та наведення різкості. Додатковим джерелом невизначеності є неможливість точного фокусування оптичного мікроскопа на досліджуваному об'єкті, оскільки при спробі провести вимірювання в області об'єкта, що знаходиться нижче фокальної площини, зображення зони візуалізації стає нечітким та розмитим. Тому, **метою роботи** є підвищення точності та достовірності контролю геометричних параметрів малогабаритних об'єктів складної форми, шляхом розробки методу візуалізації малогабаритних об'єктів складної форми з субпіксельним визначенням координат зображення об'єкта.

В роботі пропонується засіб контролю геометричних параметрів малогабаритних об'єктів складної форми (рис.1), що оснащений оптичним мікроскопом та щупом. До мікроскопа приєднана цифрова відеокамера, зображення з якої передаються на комп'ютер. Щуп представляє собою прямий або кутовий зонд із наконечником сферичної форми, який використовується як засіб для визначення поправки на різкість

$$R_m = \frac{\Gamma \cdot h}{H_1}$$

де  $h$  – розмір досліджуваного об'єкта;  $\Gamma$  – збільшення оптичного мікроскопа;  $H_1$  – розмір об'єкта на фотоматриці при знаходженні об'єкта не в фокусі.

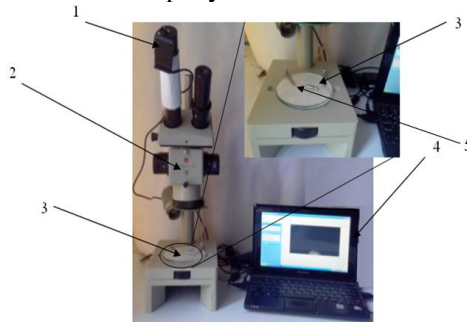


Рис. 1. Засіб контролю геометричних параметрів малогабаритних об'єктів складної форми: 1 – цифрова відеокамера; 2 – оптичний мікроскоп МБС-10; 3 – досліджуваний об'єкт; 4 – ноутбук; 5 – щуп

За допомогою програмного забезпечення виконується цифрова обробка зображень та знаходження субпіксельних координат контурних точок зображення [2], що підвищує точність контролю геометричних параметрів малогабаритних об'єктів складної форми.

Список літературних джерел:

1. Білинський, Й.Й. Методи обробки зображення в комп'ютеризованих оптико-електронних системах: монографія, Вінниця: ВНТУ, 2010 р., 272 с.

2. Білинський, Й.Й. Метод знаходження субпіксельних координат контурних точок зображення об'єкта, отриманих тактильно-оптичним сенсором/ Й.Й.Білинський, І.В. Сухоцька, С.В. Юкиш // Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. – вип. 3. – 2014. – С.94-99. – ISSN 1995-0519

**О.Г.Ігнатенко, ст. викл.;Т.М.Рукомеда, студент**  
**МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ЄМНІСНИЙ РІВНЕМІР**

Ключові слова: технологічний процес, рівноміри, датчик, мікропроцесорна техніка, ємність, діелектрична стала, дистанційне вимірювання, первинний перетворювач.

Безупинні технологічні процеси в різноманітних галузях промисловості часто потребують постійного автоматичного вимірювання рівня рідини. В таких виробничих процесах застосування мікропроцесорної техніки для вимірювання рівня рідини дає суттєвий економічний ефект з високим рівнем надійності. Тому створення такої техніки є актуальним.

За принципом вимірювання рівноміри діляться на такі основні групи:

гідростатичні; п'єзометричні; поплавкові; буйкові; акустичні; ємнісні та ін.

З наведеного переліку найбільш доцільними є ємнісні рівнеміри, оскільки вони мають такі переваги в порівнянні з аналогами, як простота реалізації, простота в керуванні, висока швидкодія, мала похибка вимірювання, безпечність в роботі.

Метою роботи є розробка мікропроцесорного ємнісного рівнеміра. Для досягнення поставленої мети процес вимірювання рівня проводиться з використанням ємнісного датчика, який входить до складу коливальної система автогенератора. В результаті, при зміні рівня, змінюється ємність датчика, і відповідно змінюється резонансна частота коливальної системи автогенератора. Таким чином, здійснюється перетворення ємності в частоту вихідної змінної напруги автогенератора. Це необхідно для передавання вимірювальної інформації на велику відстань, до місця розташування комп'ютера. Для збільшення відстані передачі даних, вихідний сигнал автогенератора підсилюється за допомогою підсилювачів.

Ємнісний датчик, що використовується, призначений для безперервного вимірювання рівня провідних рідин в будь – яких галузях промисловості. Стрижневий вимірювальний зонд повністю ізольований. Надійна механічна конструкція забезпечує високу функціональну безпеку. Застосовується на рідинах. Для виміру рівня рідин в основному застосовують повністю ізольовані ємнісні зонди. Вони без проблем працюють на агресивних і схильних до утворення відкладень рідинах. Відмінними рисами цих датчиків є простота монтажу, міцність конструкції, надійність роботи без обслуговування.

Технічні дані розробки:

- діапазон вимірювання: 6 м;
- приєднання датчика: різьба від G ¾, ½ NPT, фланці від DN 20;
- тиск: -1 ... +64 bar / -100 ... +6400 kPa;
- температура: -50 ... +200 ° C;
- робоча напруга: 12 ... 36 V.

Мікропроцесорний ємнісний рівнемір може експлуатуватися для контролю рівня рідини в багатьох галузях промисловості.

Список літературних джерел:

- 1 Поджаренко В. А., Кухарчук В. В. Метрологические основы компьютерно – измерительной техники. – К.: УМК ВО, 1989. – 216 с.
- 2 Поліщук Є.С.та ін. Метрологія та вимірювальна техніка. Навч. посіб. – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2003. – 544 с.
- 3 Новиков Ю. В., Скоробагатов П.К.. Основы микропроцессорной техники. Москва. 2004
- 4 Головка Д. Б., Рего К. Г., Скрипник Ю. О. Основы метрологии та вимірювань. – Київ.: Либідь, 2001. – 408 с.

**О.Л.Гайдамак, к.т.н., доцент, В.І.Савуляк, д.т.н., професор, В.Ю.Кучерук, д.т.н., професор, А.Рабінко, студент**

### **УСТАНОВКА ДЛЯ ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАНЕСЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ**

Створення функціональних покриттів на поверхнях деталей дозволяє суттєво впливати на експлуатаційні характеристики на надавати цим поверхням нових, не притаманних матеріалу деталі, якостей. Наприклад створення покриттів на основі алюмінію на сталевих деталях може захистити ці деталі від корозії, та значно змінити фрикційні властивості покритих поверхонь.

На кафедрі технології підвищення зносостійкості Вінницького національного технічного університету розроблено і виготовлено дослідну установку для газодинамічного нанесення функціональних покриттів. В основі її принципу дії є відкриття, зроблене у Новосибірському інституті теоретичної та прикладної механіки у 80-х роках попереднього століття, яке полягає в тому, що порошкові частинки розігнані до високих швидкостей, близьких до швидкості звуку, при зіткненні з підкладкою вступають з нею в молекулярні зв'язки і здатні утворити міцне з'єднання з останньою та між частинками порошку [1, 2]. При цьому температура напиленої частинки є нижчою за температуру її плавлення. На рисунку 1 показано фото установки газодинамічного нанесення функціональних покриттів. Основними елементами установки є нагрівач повітря 1 і розпилювач порошку 2.



Рисунок 1 - Установка для газодинамічного нанесення функціональних покриттів. 1 – нагрівач повітря. 2 – розпилювач порошку

Нагрівач повітря 2 складається з ніхромового дроту навитого у вигляді спіралі через яку продувається стиснуте повітря яке далі потрапляє у розпилювач 2 де потік повітря прискорюється до швидкості близько швидкості звуку. В цей повітряний потік подається розпилювальний матеріал – порошок алюмінію, міді, цинку та інших кольорових металів. Розганяючись в нагрітому повітряному потоці порошок досягає поверхні зразка і утворює суцільне покриття.

Розпилювач (рис. 2) складається з корпусу 1 в якому розміщено голку 2 для регулювання повітряного потоку та створення ефекту ежекції. До корпусу 1 приєднано канал 3 подачі порошку, який всмоктується за рахунок ефекту

ежекції, сопло 4, та канал подачі стиснутого повітря 5.

Для забезпечення високої якості покриття та можливості регулювання параметрами процесу напилення установка показана на рисунку 1 має бути оснащена мікропроцесорною системою для вимірювання та автоматичного регулювання параметрами які впливають на якість нанесеного покриття. Повинно бути забезпечено наступний алгоритм функціонування холодного газодинамічного нанесення покриття:

На стадії пуску.

1. Вмикається подача стиснутого повітря (0,5-1 МПа)
2. При досягненні заданого значення тиску (наприклад 0,6 МПа) автоматично вмикається подача напруги (220 В) на ніхромовий нагрівач повітря.

3. Після досягнення температури наприклад 320 °С вмикається подача напилювального порошку. Межі регулювання температури 200 -700°С.

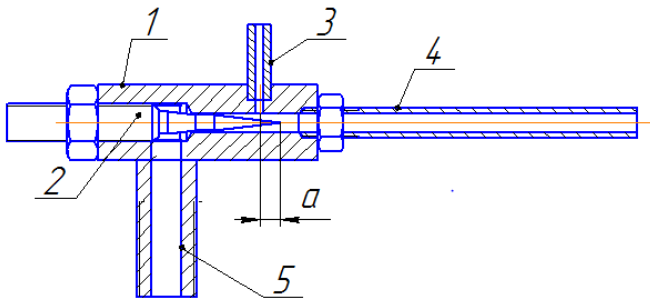


Рисунок 2 - Розпилювач. 1 – корпус, 2 – голка, 3 – канал подачі порошку, 4 – сопло, 5 – канал подачі стиснутого повітря.

На стадії роботи:

1. Повинна бути можливість регулювання кількості поданого порошку в межах 0,1 – 2 г/хв.

2. Для запобігання залипання порошку у ємності живильника порошок повинен періодично перемішуватись та піддаватись періодичній вібрації.

3. Контролювати кількість повітря, що проходить крізь нагрівач, м<sup>3</sup>/год.

4. Підтримувати температуру повітря на заданому значенні не залежно від кількості повітря, що проходить крізь нагрівач.

На стадії вимикання установки:

1. Припиняється подача порошку і напруги на нагрівач повітря.

2. Із затримкою часу 15 с вмикається подача стиснутого повітря.

Для автоматизації установки пропонується мікропроцесорна систему з контролем таких величин як: тиск, температура, напруга і дозування маси порошку, що напилюється на поверхню. Система, побудована на основі мікроконтролера AVR ATmega128A-AU. AVR - це сімейство 8-розрядних RISC-мікроконтролерів фірми Atmel. Ці МК дозволяють вирішити безліч завдань вбудованих систем. Вони відрізняються від інших поширених в наш час мікроконтролерів більшою швидкістю роботи, більшою універсальністю. Крім того, вони дуже легко програмується. Для вимірювання температури буде використано термопару типу К, J, Т, Е, оскільки потрібно вимірювати температуру до 700 °С, Для вимірювання тиску можна використати п'єзоелектричний датчик тиску. Також у системі буде присутній дозатор по масі, що буде дозувати подачу розпилюваного порошку у межах 0,1-2 грами.

Принцип дії автоматизованої системи полягає у наступному. Спочатку оператор задає початкові данні (тиск, при якому вмикається подача напруги на ніхромову спіраль, температура, при якій буде подаватись через спеціальний канал порошок для розпилення та частку самого порошку) , після чого запускається установка. Після запуску установки стиснуте повітря потрапляє у холодну зону нагрівача, де датчик тиску реєструє поточний тиск. Після того, як датчик тиску вимірює значення задане оператором, мікроконтролер почне подавати напругу на ніхромову спіраль, де повітря буде розігріватися до певної температури. Після цього повітря потрапляє у розпилювач. Безпосередньо майже на самому виході з гармати термопара вимірює значення температури і мікроконтролер тримає температуру на заданому оператором рівні ,змінюючи подачу напруги на ніхромовій спіралі. Після досягнення заданої температури, через спеціальний канал, дозатором подається певна кількість порошку для розпилення. Також мікроконтролер посиляє сигнал на вібромотор та спеціальний гвинт, які знаходяться у ємності з порошком для уникання злипання його у каналі подачі.

Коли процес нанесення порошку закінчується, оператор нажимає на клавішу вимкнення приладу. При цьому мікроконтролер спочатку вмикає подачу порошку і напруги на ніхромову спіраль, потім, через 15 секунд припиняється подача повітря.

Список літературних джерел:

1. Пат. 2237746 Российская Федерация, МПК С 23 С 24/04. Способ газодинамического нанесения покрытий и устройство для его осуществления / Каширын А. И., Клюев О. Ф., Шкодин А. В; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Одинский центр порошкового напыления». — No 2003100745/02; заявл. 14.11.03; опубл. 10.10.04, Бюл. No 15 (II ч.).

2. Алхимов А.П Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика. / Алхимов А.П. Клинков С.В., Косарев В.Ф., Фомин В.М. Под ред. В.М. Фомина.// – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 536. ISBN 978-5-9221-1210-9



**В.Ю. Кучерук, д.т.н., проф.; М.А. Данілова, студентка**

### **ПРИЛАД ДЛЯ БЕЗКОНТАКНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ**

Ключові слова: температурні вимірювання, чутливий елемент, пірометр, теплове випромінювання, інфрачервоний датчик температури.

Жодне наукове дослідження чи процес виробництва не може обійтися без вимірювань, без виміральної інформації. Безперечно, що без розвитку методів і засобів вимірювання прогрес у науці та техніці неможливий. Вимірювання температури - найважливіше джерело інформації про хід фізичних явищ і про зміну стану речовини.

Під час вимірювання температури контактними методами за допомогою термометрів, що вступають в тепловий контакт з об'єктом вимірювання, з'являються труднощі, які різко зростають в міру підвищення температури. Ці труднощі виникають при виборі матеріалу для чутливого елемента, який повинен забезпечувати стабільність показань і мінімальний вплив на об'єкт вимірювань.

Найдоцільніше розвивати та широко впроваджувати безконтактні методи вимірювання, тому що вимірювання температури теплового випромінювання створює можливість обійти всі ці труднощі, оскільки відсутня пряма дія на конструкційні матеріали вимірального приладу.

Теоретичною основою для створення безконтактних засобів вимірювання температури стало відкриття М. Планком, В. Віном, Л. Больцманом та іншими видатними вченими основних законів теплового радіаційного випромінювання, введення ними таких понять як «спектр» та «абсолютно чорне тіло» тощо, які лягли в основу принципу дії сучасних приладів з безконтактного вимірювання температури – пірометрів.

Пірометри – це ціла група приладів для вимірювання температури точки на досліджуваному об'єкті, певної області на об'єкті, або навіть для отримання двомірного розподілу температури на заданій площі вимірювання. Принцип роботи даних приладів заснований на тому, що кожному тілу з температурою вище абсолютного нуля ( $- 273,15$  °C) не залежно від його агрегатного стану властиве теплове (температурне) випромінювання. Тепловим випромінюванням називають передачу енергії від одних тіл до інших в вигляді електромагнітних хвиль за рахунок їх теплової енергії. Що знаходиться на інфрачервоній ділянці спектру (довжина хвиль від 0,74 мкм до 1000 мкм) і з ростом температури його загальна інтенсивність зростає.

Завдяки своїй електромагнітній природі теплове випромінювання, як і світло розповсюджується в просторі прямими лініями зі швидкістю світла, що дає можливість вимірювати температурні показники об'єктів та тіл на відстані. На вимірюванні температурної потужності повного випромінювання об'єкта як видимому, так і невидимому діапазоні, і заснований принцип роботи радіаційних інфрачервоних пірометрів, або пірометрів повного випромінювання.

В якості первинного перетворювача в даному пристрої використовується інфрачервоний безконтактний датчик температури ДБТ фірми Omron на основі напівпровідникових термоелементів, що мають високу теплову чутливість. Напівпровідникові термоелементи являють собою масив послідовно включених термопар, виконаних в датчиках фірми Omron в вигляді шару тонкої плівки на поверхні МЕМС кристалу.

Діапазон вимірювань знаходиться в межах від  $- 50$  °C до  $100$  °C. Контроль температури за допомогою інфрачервоних термометрів дозволяє підвищити якість продукції, передбачити аварійні ситуації, продовжити термін експлуатації обладнання. Пірометри – це ідеальні професійні діагностичні інструменти, що забезпечують оператору максимальну безпеку і комфорт, разом з тим високоточний результат.

Список літературних джерел:

1. Сапожников Р.А. Теоретическая фотометрия – М.: Энергия, 1977. – 264 с.
2. Технологии тепловых датчиков Omron [Електронний ресурс] –Режим доступу: [http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2013\\_1\\_16](http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2013_1_16)

С.М.Кондур, к.т.н., доцент

## ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ КЛАПАНІВ РЕГУЛЯТОРІВ ТИСКУ

Ключові слова: експеримент, плоский клапан, просторове положення, світловий потік, оптичний датчик.

Автоматизація різноманітних технологічних процесів, ефективне управління агрегатами, машинами, механізмами проведення різноманітних науково-експериментальних досліджень вимагають численних вимірів певних фізичних величин [1]. Інформація про ці величини надходить від датчика і сформована у вигляді деякого сигналу. На наш погляд, найбільш зручно використовувати електричний сигнал. У порівнянні з іншими типами сигналів (наприклад, механічними, світловими, звуковими) електричний сигнал володіє істотними перевагами, зокрема це: можливість передачі на великі відстані, простотою перетворення і посилення, можливістю введення в ЕОМ з метою подальшої обробки та аналізу отриманих даних.

Особливістю пошукових робіт, що провадяться на кафедрі автоматизації тваринництва, якості та стандартизації Львівського НАУ є розробка нових та вдосконалення існуючих машин та обладнання і основною частиною цих досліджень є проведення експериментів, проведення яких іноді ускладнене або ж унеможливлене взагалі, тому що відсутній пристрій (датчик) який дозволить здійснити вимірювання та реєстрацію досліджуваного параметру. Так, зокрема основною проблемою при розробці регулятора тиску для доїльного апарата є відсутність достовірних експериментальних даних щодо характеру поведінки плоского клапана на різних режимах роботи доїльного апарата, від яких залежить вибір оптимальних його параметрів, що забезпечать працездатність як регулятора, так і доїльного апарата в цілому.

З метою експериментального дослідження та встановлення закономірностей зміни просторового положення клапана електромагнітного регулятора на різних режимах роботи доїльного апарата та встановлення необхідності застосування окремих заходів щодо його заспокоєння у процесі роботи нами виготовлено лабораторну установку [2], основним елементом якої є датчик переміщення клапана, та розроблено методику дослідження динаміки плоского якоря-клапана регулятора.

Принцип роботи оптичного датчика базується на залежності освітленості (затінення) сприймаючих фотодіодів від просторового положення якоря-клапана, який лежить на шляху світлових променів, випромінюваних світлодіодами. Зміна положення якоря-клапана призводить до зміни опромінення сприймаючих елементів, котрі у свою чергу генерують певну вихідну напругу, яка реєструється приладами, або ж подається безпосередньо на ЕОМ.

Блок-схема реєстрації просторового положення клапана наведена на рис. 1а. До неї входить блок живлення, електронний давач переміщення, осцилограф, або ж інший реєструючий пристрій.

Схема оптичного датчика наведена на рис. 2а. Він складається з корпусу 1, фотодіодів 6 і 7, закріплених у тримачах 4, 5 та випромінювальних світлодіодів 2 і 3, закріплених у тримачах 8 і 9. Живляться світлодіоди від джерела постійної напруги 10.

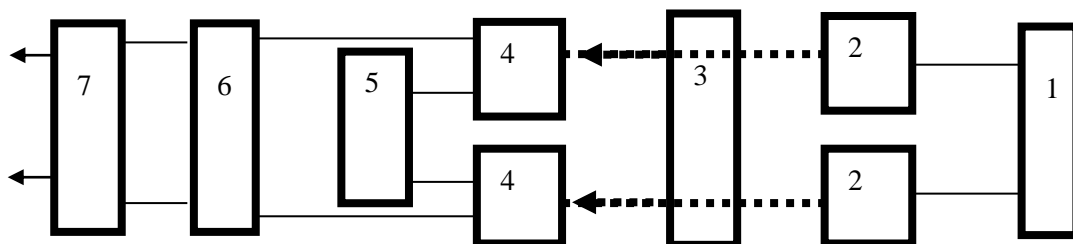


Рис. 1а. Структурна схема блоку реєстрації положення якоря-клапана електромагнітного регулятора вакууметричного тиску:

1 – блок живлення; 2 – світлодіоди; 3 – клапан; 4 – фотодіоди; 5 – осцилограф; 6 – електронний підсилювач; 7 – реєструючий пристрій.



Для узгодження вихідних характеристик датчика переміщень з приладами, що дозволяють реєструвати вихідні сигнали оптопар, та масштабування виготовлено електронний підсилювач вихідних сигналів фотодіодів на базі операційного підсилювача типу К544УД1.

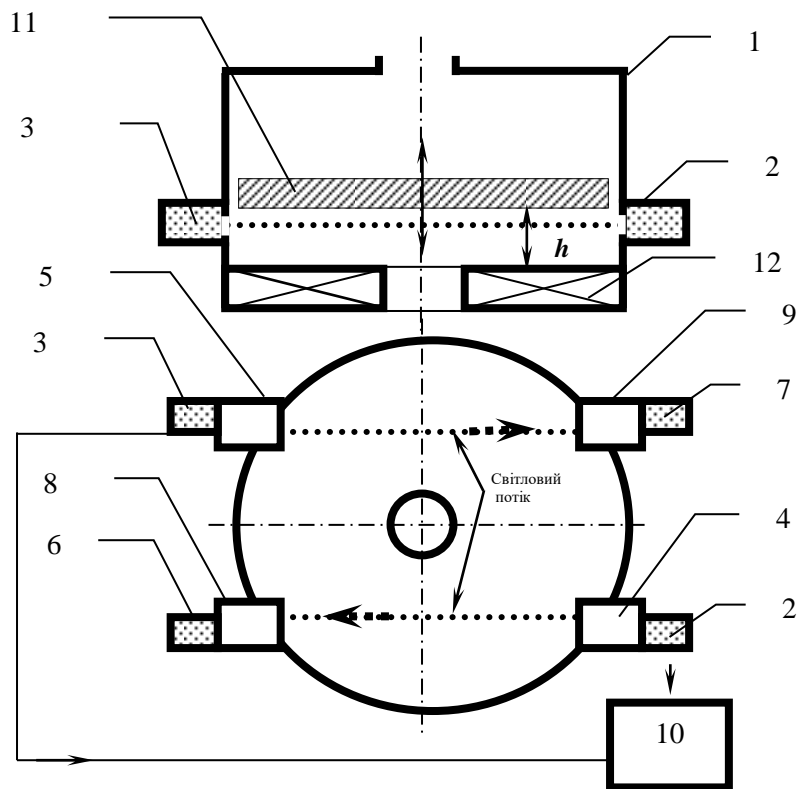


Рис. 2а. Схема пристрою для вимірювання переміщення якоря-клапана:  
1 – корпус; 2,3 – світлодіоди; 4,5,8,9 – тримачі; 6,7 – фотодіоди; 10 – блок живлення; 11 – якорь-клапан;  
12 – котушка електромагніту.

З метою встановлення залежності вихідної напруги фотодіодів  $U$  від висоти підйому якоря-клапана  $h$  над сідлом проведено тарування датчика в межах  $h = 0 - 2,0$  мм. За результатами досліджень побудовано тарувальний графік рис.3а залежності вихідної напруги фотоприймачів  $U$  від висоти підйому якоря-клапана  $h$ .

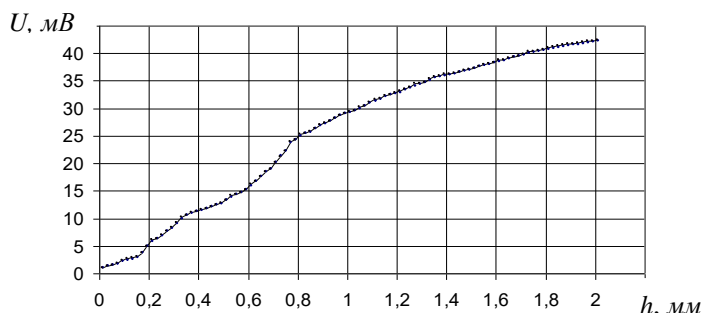


Рис. 3а. Залежність вихідної напруги фотодіода від висоти підйому якоря-клапана (1 канал).

В сільськогосподарській техніці оптичні датчики використовуються в установках сортування продуктів за кольором і визначення якості на просвічування, в регуляторах освітлення і інтенсивності опромінення в теплицях, в тваринництві і птахівництві, в приладах автоматичного відключення і включення освітлення, в вимірювачах мутності води, в приладах контролю вогню в котлах та печах, а також в різноманітних захисних приладах і т.п.

Список літературних джерел:

1. Мартыненко И.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов / И.И. Мартыненко, Б.Л. Головицкий, Р.Д. Проценко, Т.Ф. Резниченко.–М.: Агропромиздат, 1985. – 335 с.

2 Сиротюк В.М. Кондур С.М. Результати експериментальних досліджень електромагнітного регулятора вакуумметричного тиску для доїльного апарата / В.М. Сиротюк, С.М. Кондур //Вісн. Львів. держ. аграр. ун-ту: Агроінженерні дослідження. – 1997.-№1. – С.38-43.

**І.В.Коробко, д.т.н., доц. ; В.В. Кротевіч, аспірант**

### **ТУРБІННИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ВИТРАТИ ГАЗУ З ВИСОКИМИ МЕТРОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

**Ключові слова:** Природний газ, витрата, кількість, турбінний лічильник, точність, чутливість

Для вимірювання об'єму та об'ємної витрати природного газу широкого застосування набули, завдяки їх істотним перевагам перед приладами інших класів аналогічного призначення, прилади і системи вимірювання з турбінними первинними перетворювачами витрати (ППВ).

Поєднання високої точності та малої інерційності, можливості вимірювання при високих статичних тисках, відсутність обмежень за температурами оточуючого середовища та вимірюваної речовини, малі втрати натиску потоку, простота та технологічність конструкції, можливість монтажу у різних просторових положеннях на технологічних магістралях, досягнення високої точності і надійності дозволяють з успіхом застосовувати прилади, побудовані на турбінних ППВ у різних галузях народного господарства [1 - 5].

Поряд з цілим рядом позитивних якостей турбінні ППВ мають істотні недоліки, що обмежують галузь їх застосування. Одним з можливих шляхів покращення метрологічних характеристик приладів з турбінними первинними перетворювачами витрати (ТППР) є зменшення моментів опору обертанню чутливого елемента (ЧЕ) шляхом розвантаження його опор та перехід на нові принципи передачі вихідної інформації від турбінного елемента і зменшенням силової дії на нього елементів конструкції перетворювача.

В доповіді наведені результати модернізації турбінного лічильника природного газу шляхом розроблення і реалізації способу отримання і перетворення вимірюваних даних з ЧЕ. У запропонованій конструкції замість системи магнітного валу із магнітними напівмуфтами, відлікового пристрою із механічною системою передачі та перетворення інформації про обертаний рух турбіни застосовується абсолютний магнітний енкодер, з якого знімаються вимірювальні дані щодо кута обертання валу турбіни у вигляді 12-бітного коду, тобто значенням кута від 0 до 359 градусів відповідають значення кодів від 0 до 4095.

Використання абсолютного магнітного енкодера, на відміну від інкрементального, дає можливість застосування додаткової цифрової обробки вимірюваних даних і вільного призначення ціни імпульсу в межах як повного так і часткового обертання ЧЕ. Даний магнітний енкодер є інтегральним датчиком магнітного поля по двох координатах на базі сенсора Хола та вбудованого аналого-цифрового перетворювача із застосуванням CORDIC-перетворень, в ньому є температурна компенсація, автоматичне регулювання підсилення, детектування виходу значень вимірюваного магнітного поля за межі коректної роботи датчика, а також присутній детектор нижнього допустимого значення напруги живлення сенсора (межі напруги живлення цифрової частини чіпа є суттєво ширшими).

Проведені дослідження запропонованої конструкції турбінного лічильника природного газу показали, що прилад має високі чутливість (практично відсутні сили опору обертанню з боку відлікового пристрою і осьової дії кінцевого редуктора), точність (0,1-0,3%) в широкому діапазоні витрати (до 100), надійність та повторюваність результатів виміру. Такий засіб вимірюваної техніки може застосовуватися для вимірювання об'єму та об'ємної витрати природного газу в технологічних мережах з різними діапазонами його плинності.

Список літературних джерел:

1. Кремлевский, П.П. Расходомеры и счетчики количества вещества [Текст]: справочник / П. П. Кремлевский. – Л.: Машиностроение, 1989. – 701 с.
2. Бошняк, Л.Л. Тахометрические расходомеры [Текст] / Л.Л. Бошняк, Л.Н. Бызов: Машиностроение.– Л.: 1968. – 212 с.
3. Бобровников, Г. Н. Теория и расчет турбинных расходомеров [Текст] / Г.Н.Бобровников, Л.А.Камышев.– М.: Изд-во стандартов, 1978. – 128 с.
4. Писарець, А. В. Турбінні перетворювачі витрати енергоносіїв з гідродинамічним врівноважуванням чутливого елемента [Текст]: моногр. / А. В. Писарець, І. В. Коробко – К.: Корнійчук, 2013р. – 160с.

**О.Б. Мокін, д.т.н., проф., Б.І. Мокін, д.т.н., проф., акад. НАПН України,  
Ю.А. Лобатюк, магістр електромеханіки, В.О. Сухов, студ.**

**ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА ГАЛЬМІВНОЇ СИСТЕМИ  
ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ВИКОРИСТАННЯМ  
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ В ЇЇ СКЛАДОВИХ**

Ключові слова: електропоїзд, гальмівна система, електрична, пневматична, механічна складові, моделювання процесів, діагностування за моделями.

Гальмівна система будь-якого електричного транспортного засобу є основним засобом забезпечення безпеки його руху, а тому важливо діагностувати її стан в процесі експлуатації.

Гальмівна система електропоїзда складається з трьох основних підсистем – підсистеми електричних приладів панелі візуального спостереження (ЕПГС), підсистеми передачі тиску стисненого повітря від компресора по пневмопроводу до гальмівних колодок (ППГС), підсистеми накладення гальмівних колодок під тиском стисненого повітря на осі колісних пар (МППГС).

Існуюча ЕПГС нами доповнена системою підтримки прийняття рішень машиністом електровоза (СППР), яка дозволяє машиністу швидко зорієнтуватись в різноманітних показаннях приладів і однозначно діагностувати несправність, що виникла в гальмівній системі. В основу СППР закладена математична модель, що синтезована на основі системи секвенцій [1]. Підказки СППР виводяться на звуковий сигнал та на дисплей монітора, чим знімається психологічна напруга з машиніста електровоза, який змушений багато годин працювати в умовах одноманітної обстановки, а тому не нульовою є ймовірність пропуску ним початку розвитку аварійної ситуації.

Від компресора, встановленого на електровозі, тиск стисненого повітря подається до гальмівних колодок колісних пар усіх вагонів пневмопроводом, який має проміжні з'єднання з обох торцевих боків кожного вагона і який характеризується довгою протяжністю і наявністю ділянок, не прикритих захисними коробами. Завдяки цій особливості ППГС в ній часто виникають обриви і свищі, котрі необхідно вчасно ліквідувати. У нинішніх системах керування електропоїзда не передбачене автоматичне визначення місця пошкодження пневмопроводу ППГС. Нами синтезована математична модель процесів в пневмопроводі ППГС на основі диференціального рівняння в частинних похідних і виведена формула, за допомогою якої по показаннях відповідних приладів, оцифрованих в АЦП, і бортового комп'ютера автоматично визначається місце пошкодження пневмопроводу ППГС, що дозволяє при ліквідації такої несправності зекономити на часі її візуального пошуку після зупинки електропоїзда.

Гальмівні колодки МППГС досить швидко зношуються і для забезпечення надійного гальмування потребують вчасної заміни. Існуючі способи контролю товщини гальмівної колодки електропоїзда основані на візуальному спостереженні та на пропозиціях, що не реалізуються на практиці. Нами запропоновано пристрій для вимірювання товщини колодки, який використовує математичну модель, яка зв'язує між собою параметри руху окремих елементів механічного гальмівного пристрою МППГС з часом їх руху і перерахунком цього часу на товщину колодки. Пристрій захищено патентом на корисну модель [2].

В доповіді будуть наведені усі вище перераховані математичні моделі та алгоритми діагностичного моделювання з їх використанням.

Список літературних джерел:

1. Мокін Б.І. Синтез структури системи автоматичного контролю технічного стану силових електричних кіл тягового електровоза / Б. І. Мокін, Ю. А. Лобатюк, С. О. Жуков // Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2014 – №5 – С. 96-102.
2. Пат. 93668 Україна, МПК В60Т 17/18 (2006.01). Пристрій для контролю зношення гальмівних колодок електровоза / Мокін Б. І., Мокін О. Б., Лобатюк Ю. А., Лобатюк В. А.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u201404980; заяв. 12.05.2014; опубл. 10.10.2014; Бюл. № 19.

А.П. Потыльчак, к.т.н., доц.; Г.А. Черепашук, к.т.н., доц.

## ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ ПЛОТНОСТИ В ПОТОКЕ БУРОВОЙ ЖИДКОСТИ

Ключевые слова: буровая жидкость, плотность, плотномер, ареометрический метод, метрологическое обеспечение, градуировка, моделирование.

Одним из условий безаварийного бурения скважин является поддержание заданного значения плотности буровой жидкости. Так как изменение плотности буровой жидкости является признаком поступления в скважину пластового флюида, то очень важно иметь информацию о значении плотности буровой жидкости на выходе из скважины.

Для измерения плотности буровой жидкости применяют такие методы, как весовой, радиоактивный, гидростатический и ареометрический [1]. В разработанном авторами плотномере был реализован ареометрический метод, который заключается в гидростатическом взвешивании полностью погруженного в буровую жидкость твердого тела (буйка) с известными и постоянными массой и объемом.

Статическая характеристика преобразования плотномера линейна и имеет вид:

$$\rho_{ж} = \frac{\rho_B}{F_0 - F_1} \cdot (F_0 - F_{изм}),$$

где  $\rho_{ж}$  – плотность буровой жидкости,

$\rho_B$  – плотность воды,

$F_0$  – вес буйка в воздухе,

$F_1$  – вес буйка в воде,

$F_{изм}$  – вес буйка в буровой жидкости.

Измерение температуры мембраны, равной температуре буровой жидкости, позволяет осуществлять термокомпенсацию результатов измерения веса буйка, а так как плотность буровой жидкости имеет известную зависимость от ее температуры, то, при необходимости, возможно приведение значений плотности к начальному значению при 4 °С или 20 °С.

Структурная схема плотномера изображена на рис. 1.

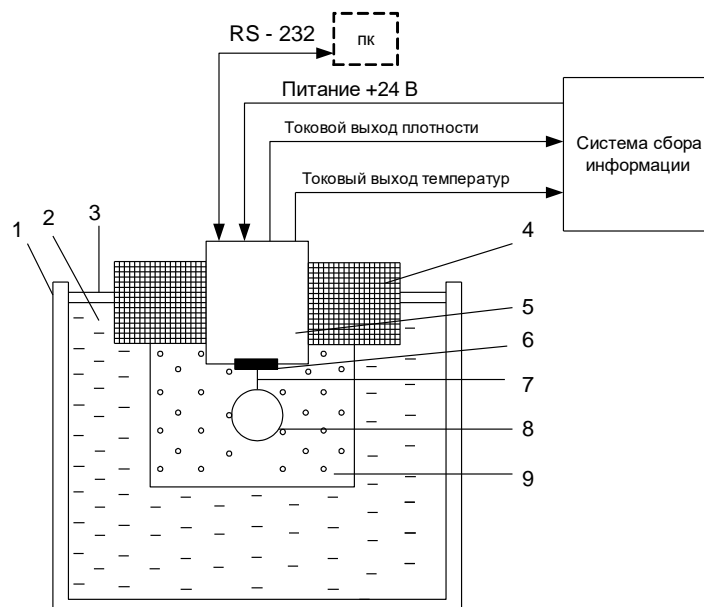


Рис. 1 – Структурная схема плотномера

(1 – резервуар, 2 – буровая жидкость, 3 – элементы фиксации, 4 – поплавок, 5 – измерительный блок, 6 – мембранный тензодатчик, 7 – соединительный шток, 8 – погружаемый груз, 9 – экран-рассекатель)

Буюк постоянной массы и объема со средней плотностью, большей верхнего предела измерения плотномера, подвешен с помощью соединительного штока к измерительному блоку и полностью погружен на заданную глубину в исследуемую буровую жидкость в проточном резервуаре или резервуаре хранения. Измерительный блок конструктивно объединен с поплавком, который удерживает его на плаву на поверхности буровой жидкости. Элементы фиксации препятствуют сносу поплавка потоком буровой жидкости при ее протекании в резервуаре. Экран-рассекатель потока соединен с поплавком и защищает погруженный шток и буюк от бокового давления, создаваемого потоком буровой жидкости.

В днище корпуса измерительного блока герметично вставлена круглая гибкая мембрана, изготовленная, как и корпус, из нержавеющей стали. К центру мембраны снизу крепится шток с буюком, а на внутреннюю ее поверхность наклеены восемь тензорезисторов, соединенных по схеме полного моста, и термодатчик в интегральном исполнении. Под действием веса буюка и штока происходит изгибная деформация мембраны, в результате чего нарушается равновесие предварительно уравновешенного тензомоста. Входные сигналы тензомоста и интегрального термодатчика, пропорциональные соответственно весу буюка и температуре мембраны, равной температуре буровой жидкости, подаются на плату нормирующего преобразователя. Она находится внутри герметичного корпуса измерительного блока и преобразует эти сигналы в выходные токовые сигналы измерения плотности и температуры 4 – 20 мА, которые по кабелю через гермоввод поступают на систему сбора информации. По этому же кабелю осуществляется электрическое питание плотномера.

Разработанный авторами плотномер имеет такие технические характеристики:

- диапазон измерения плотности – 0...3,0 г/см<sup>3</sup>;
- пределы допустимой абсолютной погрешности измерения плотности – ±0,01 г/см<sup>3</sup>;
- диапазон измерения температуры – -10...+85 °С;
- пределы допустимой абсолютной погрешности измерения температуры – ±2,0 °С;
- максимальная скорость течения буровой жидкости – 0,5 м/с;
- минимальная глубина буровой жидкости в резервуаре – 0,6 м;
- диапазон рабочих температур – -10...+85 °С;
- степень защиты – IP67;
- напряжение питания – +24±2,4 В;
- потребляемая мощность – не более 10 Вт;
- выходные сигналы измерения плотности и температуры – аналоговый сигнал 4-20 мА постоянного тока;
- длина кабеля связи измерительного блока и системы сбора информации – не более 10 м;
- подключение персонального компьютера – через интерфейс RS – 232;
- длина кабеля связи измерительного блока и персонального компьютера – не более 3 м;
- габаритные размеры (Г\*Ш\*В) – не более 400\*400\*500 мм;
- масса – не более 6 кг.

Также авторами были рассмотрены вопросы метрологического обеспечения плотномера. Так, при его градуировке использован метод метрологического моделирования [2]. Вместо традиционного использования калибровочных жидкостей известной плотности используются воздух и чистая вода. Изменение плотности буровой жидкости имитируется изменением веса груза, помещаемого в пустотелый буюк.

Опытный образец разработанного авторами плотномера изготовлен ООО «Инженерное бюро Авиационного института», г. Харьков.

Список литературных источников:

1. Конев С.Н. Дифманометрический датчик плотности бурового раствора / С.Н. Конев, В.А. Воробьев, Р.Я. Шагалов // Каротажник. – 2002. -№ 95. – С. 75 – 83.
2. Борзенкова А.В. Калибровка систем взвешивания и центровки летательных аппаратов / А.В. Борзенкова, Г.А. Черепашук // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 1/4(15). – С. 18 – 20.

В.М.Севастьянов, к.т.н., доц.; М.О.Руденко, магістр

## ПЕРЕТВОРЮВАЧ РІВНЯ РІДИНИ НА ОСНОВІ RL-ДІОДНОГО ГЕНЕРАТОРА ДЕТЕРМІНОВАНО-ХАОТИЧНИХ КОЛИВАНЬ

Ключові слова: ємнісний перетворювач, генератор детерміновано-хаотичних коливань, чутливість, чутливий елемент.

Серед величезного розмаїття рівнемірів, що широко використовуються на даному етапі розвитку науки і техніки, існує і такий їх клас, як ємнісні. Їх використовують в системах контролю, регулювання і управління виробничими процесами в різних галузях промисловості [1].

Оскільки існуючі рівнеміри не завжди влаштовують своєю чутливістю, тому підвищення чутливості ємнісних перетворювачів є актуальним завданням. Для цього було використано RL-діодний генератор детерміновано-хаотичних коливань (ГХК) як вимірювального перетворювача, що є складовою коливальної системи зі складною динамікою [2]. Вона включає в себе всього три лінійні елементи (резистор R1, індуктивність L1, ємність C1) і один нелінійний елемент (діод D1). При виборі їх величин необхідно враховувати можливість попадання в зону хаосу та сусідство з іншими коливальними режимами. Схема ГХК наведена на рис. 1. Для реалізації перетворення ємності в постійну напругу на вихід ГХК підключено синхронний детектор. Як первинний вимірювальний перетворювач використано змінну ємність C1.

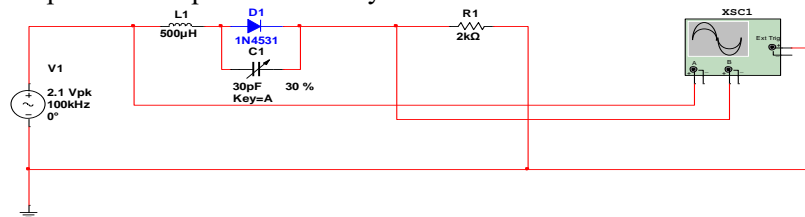


Рис. 1 – Принципова схема RL-діодного генератора детерміновано-хаотичних коливань

Ця схема є чутливою до зміни C1, тобто при використанні замість конденсатора C1 ємнісного сенсора можливо здійснювати вимірювальне перетворення його сигналу.

Графік чутливості напруги до зміни ємності побудовано на рис. 2.

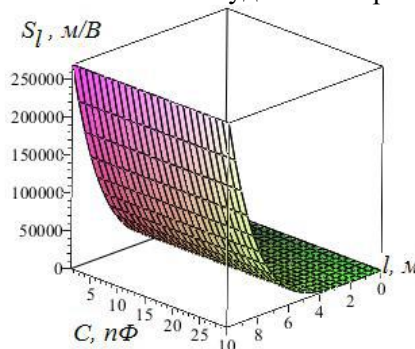


Рис.2 – Залежність чутливості напруги до зміни ємності

Згідно графіка залежності напруги від ємності видно їх прямопропорційну залежність. Встановлено, що використання вимірювального перетворювача на основі ГХК дає змогу збільшити чутливість приладу. Змінюючи значення електричної ємності в діапазоні від 1.5 пФ до 30 пФ, зафіксовано, що значне підвищення чутливості відбувається при вимірюванні ємності більше 10 пФ.

Список літературних джерел:

1. Ємнісні сенсори / Р.І. Байцар, С.С. Варшава, Ю.Ю. Радченко – Львів: Видавництво ЛвЦТТЕІ, 2002 – 63 с.
2. Кучерук В.Ю. Про основні принципи створення вимірювальних пристроїв з використанням генераторів хаотичних коливань/ В. Ю. Кучерук, В. М. Севастьянов, В. С. Маньковська // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. - № 2. – С. 101-104.

О.М. Васілевський, к.т.н., доцент; Є.О. Данилюк, студент

## ЗАСІБ ВИМІРЮВАННЯ АКТИВНОСТІ ІОНІВ НА ОСНОВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧА НАПРУГИ В ЧАСТОТУ

Ключові слова: активність іонів, перетворювач напруги в частоту, засіб вимірювання, рівняння перетворення.

Для підвищення вірогідності вимірювального контролю та точності вимірювання запропоновано потенціометричний засіб вимірювання (ЗВ) активності іонів, що базується на використанні перетворювача напруга-частота (ПНЧ) замість класичного АЦП чи блоків порівняння. Структурна схема ЗВ активності іонів, що побудований за принципом перетворення напруги в частоту, представлена на рис. 1.

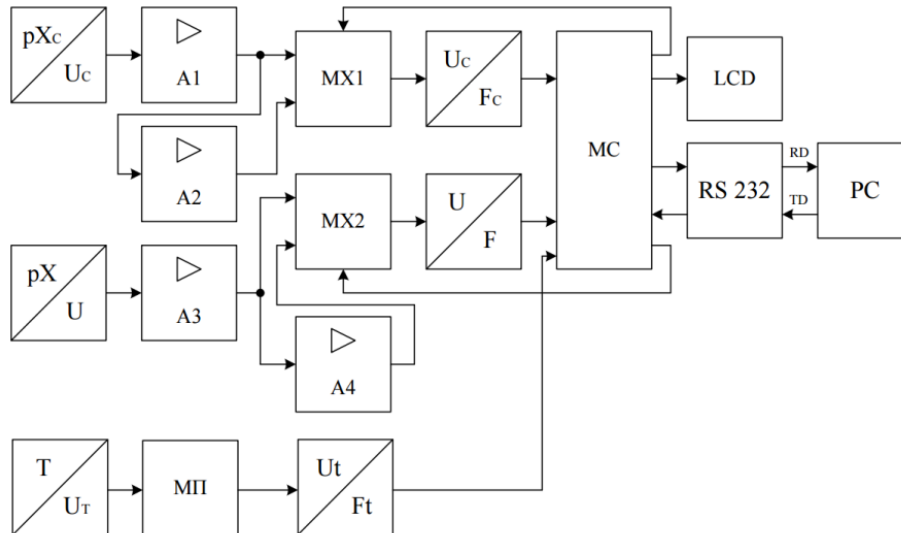


Рисунок 1 – Структурна схема потенціометричного засобу вимірювання активності іонів на основі ПНЧ

До складу ЗВ активності іонів реалізованого на ПНЧ входять: іон-селективний перетворювач (рХ/У) та електрод порівняння (рХС/UC); два операційні підсилювачі в кожному із вимірювальних каналів (ВК) активності іонів (А1–А4) для забезпечення вимірювання як позитивних, так і негативних значень величини рХ; мультиплексори (МХ1 та МХ2); ПНЧ (UC/FC і U/F) для перетворення потенціалів електрода порівняння UC/FC та іон-селективного електрода U/F в частоту; мікроконтролер (МС); рідкокристалічний дисплей (LCD); перетворювач рівнів напруги (RS232) для послідовної передачі даних до комп'ютера (PC). А також ВК температури, який складається з терморезистивного перетворювача, масштабного перетворювача (МП) та ПНЧ.

Рівняння перетворення запропонованого ЗВ активності іонів, що побудований за принципом перетворення U/F, має вигляд [1, 2]

$$N_{U/F} = \frac{U_{\max} f_0 \tau}{\left( U'_0 - \frac{\alpha(273.16+t)}{n_a} pX_i \right) k}, \quad (1)$$

де  $U_{\max}$  – значення опорної напруги ПНЧ (10 В);  $\tau = RC$  – постійна часу ПНЧ, що використовується для задавання повномасштабного вихідного частотного діапазону ( $R=1\text{кОм}$ ,  $C=47\text{мкФ}$ );  $f_0$  – частота кварцового резонатора мікроконтролера (20МГц);  $k$  – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача [1, 2].

Список літературних джерел:

1. Дідич В. М. Потенціометричні засоби вимірювання активності іонів складових елементів гумусу в ґрунті / В. М. Дідич, О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 5. – С. 5–10.

2. 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.](#)

**В.Н. Севастьянов, к.т.н., доц.; К.М. Погрелюк, студентка**

## **ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Ключевые слова: радиоактивность, приборы дозиметрического контроля, ионизационный метод, дозиметр, счетчик Гейгера – Мюллера.

Радиоактивность - это способность некоторых природных элементов таких как, радия, урана, тория, а также искусственных радиоактивных изотопов распадаться, выпуская при этом невидимые и неощутимы человеком излучения. Такие элементы называются радиоактивными. Актуальность данной темы заключается в радиоактивном загрязнении окружающей среды, которое достигло глобальных катастрофических масштабов. Это происходит в результате испытаний ядерного оружия, аварий на объектах ядерной энергетики, переработки ядерного топлива.

Для измерения суммарной дозы ионизирующего излучения, полученную человеком за время пребывания на радиоактивно зараженной местности используют – дозиметр. В соответствии с назначением данный дозиметрический прибор можно подразделить в группу приборов для контроля степени заражения. При работе с ионизирующими излучениями необходим постоянный контроль эквивалентных доз и мощности (ЭД) на рабочих местах, потому что человек, находящийся вблизи источников ионизирующих излучений, может облучиться незаметно для себя.

Приборы дозиметрического контроля основаны на ионизационном, сцинтилляционном и фотографическом методах регистрации. Ионизационный метод, который заключается в способности радиоактивного излучения ионизировать воздух. Данный метод является основным, и его используют почти во всех дозиметрических приборах.

На сегодняшний день самым надежным и точным считается бытовой дозиметр – радиометр ТЕРРА-П. Самый популярный бытовой дозиметр – радиометр в Украине и мире. Создан на базе профессионального прибора МКС-05 ТЕРРА, который находится на вооружении украинской армии. С помощью данного дозиметрического прибора ТЕРРА-П можно проверить радиационную безопасность мест проживания, работы и отдыха, автомобиля, предметов быта, одежды, стройматериалов.

Для достижения поставленной цели процесс измерения радиации будет проводиться на основе ионизационного метода регистрации излучений, который основан на регистрации ионов, образуемых излучениями при прохождении их через заранее известное вещество. В качестве такого вещества используют газ, который наполняют в замкнутый объем-детектор излучения.

В данном дозиметрическом приборе детектором ионизирующего излучения служит достаточно популярный газоразрядный счётчик Гейгера – Мюллера для счета числа прошедших через него ионизирующих частиц, который представляет собой газонаполненный конденсатор, пробивающийся при появлении ионизирующей частицы в объёме газа. Широкое применение счетчика Гейгера-Мюллера объясняется высокой чувствительностью, сравнительной простотой, а так же возможностью регистрировать разного рода излучения.

Дозиметр – радиометр ТЕРРА-П используется для измерения уровня гамма-фона и накопленной дозы, оценивает бета-загрязнения, а так же преимуществом данного прибора являются простота, надежность, правильность показаний. Диапазоны измерений: эквивалентной дозы гамма излучения от 1,0 мЗв до 10,0 Зв; мощность эквивалентной дозы гамма излучения от 0,1 до 10,0 мкЗв/ч; плотности потока бета-частиц, в котором возможна оценка поверхностной загрязненности бета-радионуклидами от 10 до 105 см<sup>2</sup>·мин; диапазон энергий гамма-излучения 0,05 - 3,0 МэВ. Обновленная версия дозиметра-радиометра МКС-05 ТЕРРА поставляется с Bluetooth каналом для связи прибора с компьютером.

### Список литературных источников:

1. Асаенок И.С., Навоша А.И. Радиационное облучение. Учебное пособие. – Мн.: Бестпринт, 2004. – 105 с.
2. Приборы радиационной разведки [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.bti.secna.ru/bgd/book/p\\_12.html](http://www.bti.secna.ru/bgd/book/p_12.html)



**СЕКЦІЯ 3 (SECTION 3)**  
**Метрологічне забезпечення засобів вимірювань,**  
**контролю та діагностики**  
**(Metrological support of measurement, control and**  
**diagnostics)**

Л.О.Ковтун, к.т.н.

## ОЦІНКА ВІРОГІДНОСТІ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ОПТИЧНО-ПРОЗОРИХ ЛИСТОВИХ МАТЕРІАЛІВ (ОФСЕТНОГО ПАПЕРУ)

Ключові слова: вірогідність контролю, помилка першого роду, помилка другого роду, надлишкові вимірювання, папір

Вступ. Контроль вологості оптично-прозорих листових матеріалів, зокрема офсетного паперу, є досить важливою і сучасною задачею. Надлишковий вологовміст у папері не менше ніж його недостатній вміст сильно впливає на якість виробів з паперу, якість нанесення фарб та ін. Тому оцінка вірогідності контролю, помилок першого та другого роду є невід'ємною та важливою задачею під час використання паперу.

Основний текст. Була проведена оцінка вірогідності контролю вологості офсетного паперу.

Сумісну двовимірну щільність вірогідності контрольованої величини та похибки вимірювання визначаємо із виразу

$$P(C_x \cdot \Delta_{C_x}) = P(C_x) \cdot P(\Delta_{C_x}) \frac{1}{2\pi\sigma_{C_x}\sigma_{\Delta_{C_x}}} \exp\left[-\frac{(C_x - \bar{C}_x)^2}{2\sigma_{C_x}^2} - \frac{(\Delta_{C_x} - \bar{\Delta}_{C_x})^2}{2\sigma_{\Delta_{C_x}}^2}\right].$$

Графічне представлення законів розподілу контрольованої величини, похибки вимірювання та сумісної двовимірної щільності розподілу вірогідності контрольованої величини представлено на рис. 1.

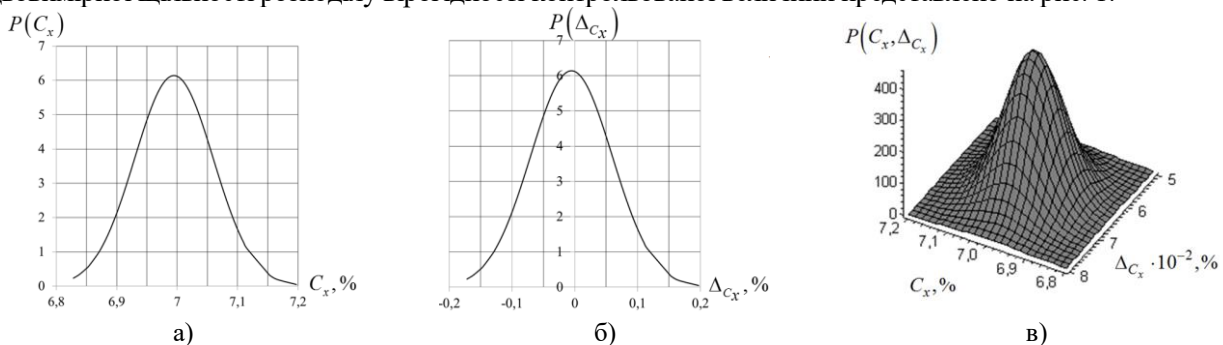


Рис. 1. Графічне представлення закону розподілу контрольованої величини (а), похибки вимірювання (б), сумісної двовимірної щільності розподілу (в)

На основі наведених законів розподілу визначені основні статистичні характеристики.

Висновки. Аналіз отриманих даних показав, що обробка експериментальних даних за рівнянням надлишкових вимірювань дозволяє здійснити корекцію мультиплікативної та адитивної складових похибки. За рахунок цього підвищується вірогідність контролю вологості паперу. У результаті проведення експериментальних досліджень та математичної обробки отриманих значень встановлено, що використання надлишкових вимірювань та обробка результатів проміжних вимірювань за відповідним рівнянням надлишкових вимірювань, дозволяють вилучити вплив на результат вимірювання таких факторів: додаткове послаблення потоку оптичного випромінювання, що відбувається при проходженні його через передавальні та приймальні оптичні волокна, відхилення значення потужності потоку оптичного випромінювання від номінального, зміни товщини досліджуваного матеріалу. Таким чином вилучається вплив на результат вимірювання адитивної та мультиплікативної складової похибки. Встановлено, що на результат впливає похибки відтворення нормованого значення концентрації вологості зразка листового матеріалу.

Список літературних джерел:

1. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: Навчальний посібник. – Вінниця, ВДТУ, 2001. – 219 с.
2. В.В. Богачук, Б.І. Мокін. Методи та засоби вимірювального контролю вологості порошкоподібних матеріалів.– Монографія. – Вінниця: Універсум, 2008.
3. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. / П.П. Орнатский. – К.: Вища школа. – 1983. – 455 с.
4. Разумный В.М. Оценка параметров автоматического контроля. / В.М. Разумный. – М.: Энергия, 1975. – 80с.

**В.І.Банга, к.т.н, доцент, В.Т.Дмитрів, к.т.н., доцент, Ю.В.Банга, магістр**  
**МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ ВИМІРЮВАЧА МАСИ ПОТОКУ СИПУЧИХ**  
**МАТЕРІАЛІВ**

Ключові слова: вимірювач маси потоку, тензодатчики, тензовимірювальна площа, калібрування, точність вимірювання, електричний сигнал, нерівномірність дозування

Постановка проблеми. Питання визначення нерівномірності дозування дозуючих механізмів в процесі їх роботи є актуальним, так як дозатори повинні забезпечувати відповідну рівномірність і точність норми видачі [1, 2]. Це вимагає наявності відповідного обладнання. Без розробки та використання сучасних комп'ютеризованих методів вимірювання і обліку потоків мас в динамічному режимі неможливо забезпечити належний рівень точності та швидкодію знімання інформації. Тому розробка і дослідження вимірювача маси потоку сипучих матеріалів є актуальною.

Реалізація вимірювача маси потоку сипучих матеріалів на сучасній елементній базі повинно забезпечити високу точність вимірювання з низькою постійною часу вимірювання. Для реалізації такого вимірювача необхідно дослідити залежність зміни вихідного параметру від силових характеристик, що діють на вимірювальний елемент, обґрунтувати конструктивні параметри системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вимірювання маси потоку сипучих кормів існує ряд методів: ваговий із використанням ковшових та стрічкових автоматичних ваг; силовий, тахометричний, флуктуаційний, іонізаційний, кореляційний, оптичний, точковий. Кожен із методів має свої переваги та недоліки і може використовуватися в окремих випадках та при відповідних умовах, крім того, не завжди забезпечується оптимально допустима точність вимірювання. Найбільш оптимальним є ваговий метод, де точність вимірювання досягає 1,5–2,0% [3]. Тому за основу прийнято даний метод і запропоновано динамічно-ваговий спосіб вимірювання маси потоку сипучих кормів.

Постановка завдання. Метою калібрування є встановлення залежності вихідної напруги тензодавачів вимірювача потоку сипучих матеріалів від проходження маси потоку сипучих кормів по тензовимірювальній площині.

Виклад основного матеріалу. Калібрувальна схема вимірювача маси потоку сипучих матеріалів наведена на рис.1, а загальний вигляд на рис. 2. [4,5].

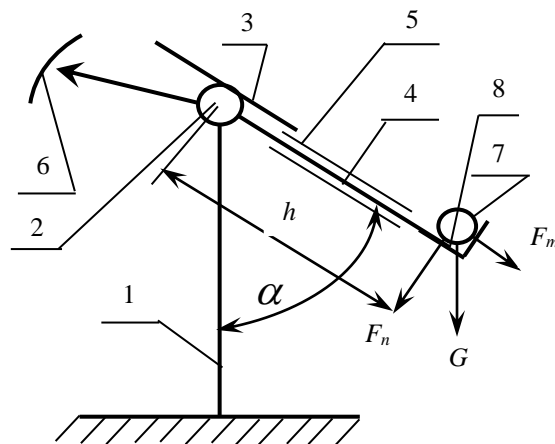


Рис. 1. Калібрувальна схема вимірювача маси потоку сипучих матеріалів:

1 – опора; 2 – позовжня балка; 3 – компенсатор динамічних зусиль; 4 – тензовимірювальна площа; 5 – тензодавачі; 6 – механізм зміни кута нахилу тензовимірювальної площини; 7 – гирі; 8 – фіксована пластина для гир.

Момент, який діє на тензовимірювальну площину, визначали за формулою

$$M = F_n \cdot h_c, \quad (1)$$

де  $F_n$  – сила, яка діє на тензовимірювальну площину, Н;

$h_c$  – плече сили, м.

Сила, яка діє на тензовимірвальну площину, визначали за формулою

$$F_n = G \cdot \sin \alpha, \quad (2)$$

де  $G$  – сила маси, яка діє на тензовимірвальну площину, Н;

$\alpha$  – кут нахилу тензовимірвальної площини, град.

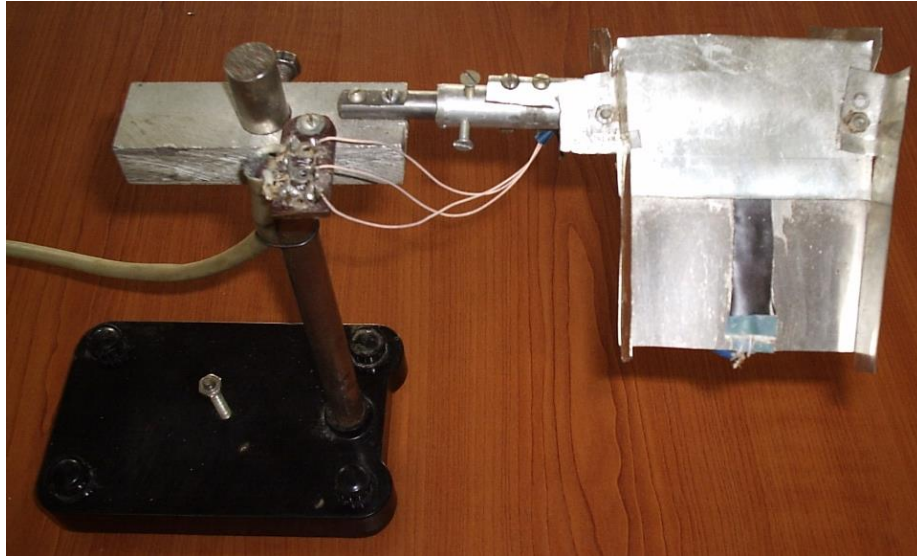


Рис. 2. Загальний вигляд вимірювача маси потоку сипучих матеріалів

Калібрування вимірювача маси потоку сипучих матеріалів для дослідження нерівномірності і точності дозування робочих органів дозаторів кормів (див. рис. 1) проводили наступним чином. Вимірвальну площину 4 з фіксованою пластиною 8 і тензодавачами 5, які з'єднані в схему вимірвального моста, статично навантажували стандартними гирями 7 різної ваги від  $2,5 \cdot 10^{-3}$  до 0,08 кг з кроком  $2,5 \cdot 10^{-3}$  кг. Під навантаженням вимірвальна площина 4 прогиналася, прогин фіксувався тензодавачами 5, значення його відображались на моніторі комп'ютера у вольтах (В). Електричний сигнал від тензодавачів підсилювався тензопідсилювачем типу 8АНЧ–7М і подавався на аналогово-цифровий модуль L–154, який є інтерфейсом ПЕОМ. Значення даних тарування у цифровому вигляді у вольтах (В) записували у ПЕОМ. Блок-схема для дослідження нерівномірності дозування робочих органів дозатора вимірювачем маси потоку сипучих матеріалів наведена на рис. 3.

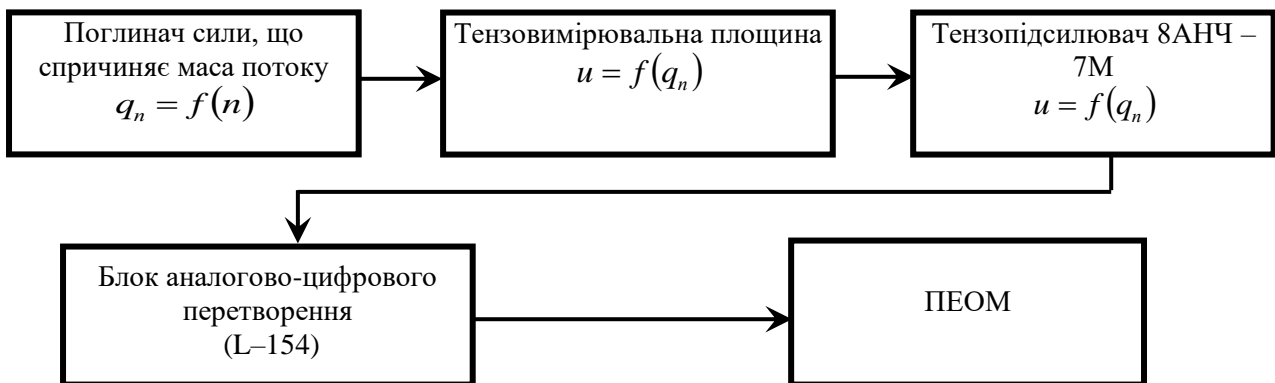


Рис. 3. Блок-схема для дослідження нерівномірності дозування робочих органів дозатора вимірювачем маси потоку сипучих матеріалів

За результатами калібрування вимірювача маси потоку сипучих матеріалів одержано рівняння регресії:

$$U = 51,97 \cdot m_k + 0,0609, \quad (3)$$

де  $U$  – вихідна напруга тензодавачів вимірювача маси потоку сипучих матеріалів, В;

$m$  – маса потоку комбікорму, що відповідає продуктивності дозувальних робочих органів дозатора, кг/с.

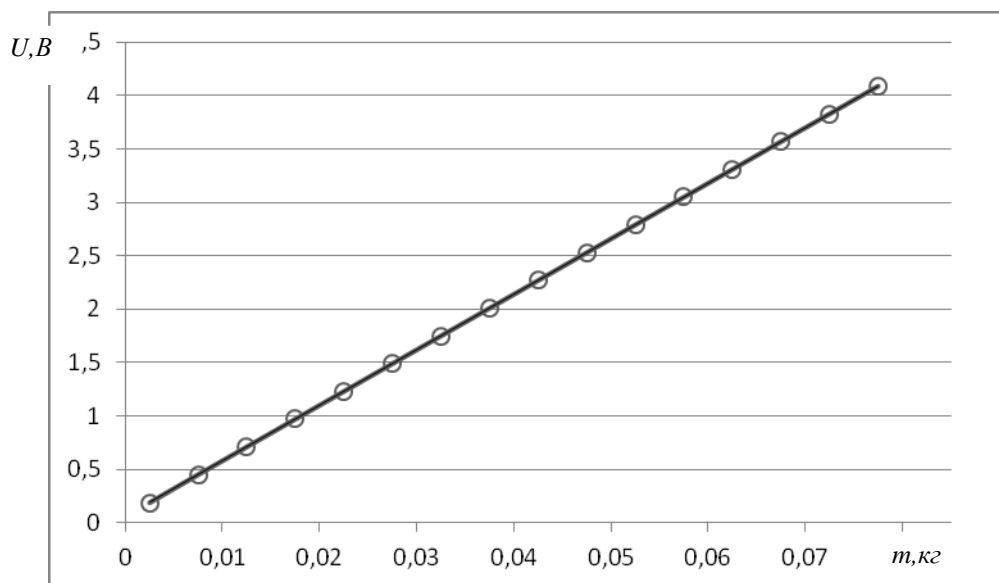


Рис. 4 - Калібрувальний графік зміни вихідної напруги  $U$  тензодавачів вимірювача потоку сипучих матеріалів від маси  $m$  проходження потоку по тензовимірювальній площині від  $2,0 \cdot 10^{-3}$  до до  $0,546$  кг/с

Висновки. За результатами калібрування вимірювача є встановлення залежності вихідної напруги тензодавачів вимірювача потоку сипучих матеріалів  $U$  від проходження маси потоку сипучих матеріалів  $m$  по тензовимірювальній площині.

Інтервал зміни напруги тензодавачів вимірювача маси потоку сипучих матеріалів є в межах від 0,2 до 4,5 В при масовому потоку сипучих матеріалів від  $2,0 \cdot 10^{-3}$  до до  $0,546$  кг/с.

Список використаних джерел:

1. Банга В.І. Експериментальні дослідження індивідуального дозатора комбікормів з конусним робочим органом / В.І. Банга // Вісник Львів. ДАУ: Агроінженерні дослідження.- 2003.- №7. – С.123-127.
2. Степук Л.Я. Механізація дозування в кормоприготовленні / Л.Я. Степук - Минск: Ураджай, 1986. – 152 с.
3. Кукта Г.М. Машины и оборудования для приготовления кормов / Г. М. Кукта.-М.: Агропромиздат,1987.-149-150 с.
4. Пат. Україна МПК G01F1/76. Вимірювач маси потоку сипучих матеріалів / Банга В.І., Сиротюк В.М., Дмитрів В.Т. і ін.; заявник та патентовласник Банга В.І. №2001096131, Опубл.15.08.2002, Бюл №8.
5. Дмитрів В.Т., Банга В.І., Сиротюк В.М. Вимірювач потоку сипких матеріалів /В.Т. Дмитрів., В.І.Банга, В.М. Сиротюк //Вчені Львівського національного аграрного університету виробництву: каталог іноваційних розробок ЛНАУ/ За заг. ред. В.В. Снітинського, В.І. Лопушняка – Вип. 11. – Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2011. – С. 14.

**Н.Є. Гоц, д.т.н., доцент, професор кафедри МСС; Ю.М. Дзіковська, аспірант**  
**МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ ТЕПЛОВІЗОРА В РОБОЧИХ УМОВАХ**

Ключові слова: тепловізор, сірий площинний випромінювач, калібрування, методична похибка.

Тепловізійні вимірювання температури та градієнта температури об'єктів за інфрачервоним випроміненням у промисловості відіграють важливу роль як ефективний дистанційний спосіб отримання інформації про технічний стан об'єктів дослідження. При цьому гостро постає питання забезпечення точності та відтворюваності результатів проведених тепловізійних вимірювань. У результаті дослідження чинних в Україні нормативно-технічних документів із питань вимірювань розподілу температури теплового поля промислових об'єктів виявили доцільність у розробленні методики проведення додаткового калібрування тепловізорів в робочих умовах.

Значення основної похибки вимірювання температури та градієнта температури нормується технічною документацією до тепловізора. Але необхідно зазначити, що калібрування тепловізора згідно ГОСТ 8.395-80 відбувається в нормальних умовах, при яких нормуються значення коефіцієнта випромінення еталонного випромінювача, забезпечується відсутність фонового випромінення та впливу проміжного середовища на результати калібрування. В робочих умовах експлуатації вплив цих факторів на покази тепловізора є значним і може становити десятки градусів [1]. Отже, покази тепловізора, відкаліброваного за еталонним площинним випромінювачем (моделі АЧТ) у нормальних умовах, при його застосуванні для вимірювання температури об'єкта в робочих умовах експлуатації будуть різнитися. Це визначає методичну похибку вимірювання температури за випроміненням в умовах експлуатації [2].

Для вирішення цієї проблеми запропоновано методику проведення додаткового калібрування тепловізора в робочих умовах із визначенням значень впливних факторів з метою введення поправки в результати вимірювань.

В основі даної методики запропоновано алгоритм проведення вимірювання потоку випромінення у двох спектральних ділянках із використанням сірого площинного випромінювача згідно формули вихідного сигналу окремого елемента матриці приймачів випромінення у робочих умовах:

$$S_p(\lambda, T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R(\lambda, T) \cdot \tau_{\text{ПСРВ}}(\lambda, T) \left[ \varepsilon_i(\lambda, T) \cdot C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)^{-1} + (1 - \varepsilon_i(\lambda, T)) \Phi(\lambda, T_{\text{ФБРВ}}) \right] d\lambda$$

де  $\tau_{\text{ПСРВ}}(\lambda, T)$  – коефіцієнт пропускання проміжного середовища в робочих умовах;  $\Phi(\lambda, T_{\text{ФБРВ}})$  – потік фонового випромінення оточуючих предметів у робочих умовах;  $\varepsilon(\lambda, T)$  – коефіцієнт випромінення;  $T$  – значення температури;  $i=1$  – значення величин для сірого площинного випромінювача;  $i=2$  – значення величин для об'єкта дослідження;  $\lambda_1 \div \lambda_2$  – робоча спектральна смуга оптично-приймальної системи тепловізора;  $C_1$  та  $C_2$  – сталі.

Перший етап розробленого алгоритму включає визначення параметрів, котрі можна отримати з використанням площинного випромінювача (за умов наявності інформації про його коефіцієнт випромінення та значення температури), а саме коефіцієнта пропускання проміжного середовища та фонового випромінення в робочих умовах. Вимірювання проводиться у двох спектральних ділянках. На другому етапі на основі проведення вимірювань також у двох спектральних ділянках, враховуючи відомі нам значення коефіцієнта пропускання проміжного середовища та фонового випромінення, знаходимо температуру та коефіцієнт випромінення об'єкта дослідження. Значення впливних факторів використовуємо для внесення поправок у калібрувальну функцію тепловізора.

Також запропоновано конструкцію сірого еталонного площинного випромінювача.

Таким чином, застосування даного алгоритму у реальних умовах сприятиме підвищенню точності практичних вимірювань, адже забезпечить зменшення методичної складової похибки вимірювання температури та градієнта температури за випроміненням.

1. Інформаційно-вимірювальна техніка: у 2 т. / М.М. Дорожовець [та ін.]. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2005. – Т. 1. – 455 с. 2. Гоц Н.Є., Дзіковська Ю.М. Дослідження особливостей застосування тепловізорів у промислових умовах / Н.Є. Гоц, Ю.М. Дзіковська // Український метеорологічний журнал. – 2015. – № 1. – С. 26-31.

**К.О.Зубенко, студентка**

## **МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЦІНЕННЯ ЯКОСТІ ШОКОЛАДУ**

Ключові слова: метрологічне забезпечення, точність вимірювання, оцінення якості продукції.

В забезпеченні якості продукції важлива роль належить метрології - діяльності, спрямованої на забезпечення єдності вимірювань. Метрологічне забезпечення тісно пов'язане з точністю вимірювань техніко-економічних параметрів виробництва та показників якості продукції. Контроль багатьох параметрів якості є завданням вимірювальної техніки. Висока якість продукції може бути досягнута тільки там, де вимірювальна техніка є невід'ємною частиною процесу виробництва. Крім того, необхідного підвищення якості вимагають все вищі вимоги до ефективності самої вимірювальної техніки. Тому забезпечення якості і вимірювальна техніка в процесах виробництва взаємопов'язані між собою. Метрологічне забезпечення шоколаду включає в себе багато складових.

Шоколад повинен відповідати наступним вимогам забезпечення контролю якості:

- смак і запах властиві для шоколаду повинен бути без стороннього присмаку і запаху;
- зовнішній вигляд - лицьова поверхня блискуча, допускається матовість.
- форма - відповідна рецептурі, без деформації;
- консистенція - тверда;
- структура - однорідна;
- ступінь подрібнення не менше 92%;
- масові частки цукру, жиру і вологи в шоколаді повинні бути у відповідності з розрахунковим вмістом за рецептурою з урахуванням допустимих відхилень;
- масова частка какао продуктів у шоколаді за рецептурою повинна бути не менше 25%;
- вміст токсичних елементів, пестицидів і афлатоксину В1 не повинно перевищувати допустимі рівні, встановлені в медико-біологічних вимогах і санітарних нормах якості продовольчої сировини та харчових продуктів Міністерства охорони здоров'я України;
- шоколад випускають штучно у вигляді плиток;
- шоколад загортають у фольгу і етикетку;
- фасують в пакки або коробки з картону згідно з нормативно-технічної документації або в полімерні коробки, дозволених до застосування;
- для кожного найменування шоколаду етикетки повинні бути художньо оформлені і затверджені в установленому порядку;
- загорнутий шоколад у вигляді плиток упаковують в ящики з гофрованого картону масою нетто не більше 5 кг, коробки або пакки з картону масою не більше 3 кг.

МЗ шоколаду використовується у визначенні масової частки золи, не розчинної в розчині соляної кислоти з масовою часткою 10%. Масова частка золи, не розчинної в розчині соляної кислоти з масовою часткою 10% повинна бути не більше 0,1% [1].

Метод заснований на обробці при нагріванні загальної золи соляною кислотою і осадження нерозчинного осаду.

1. Наважку досліджуваного продукту масою 5-10 г поміщають у попередньо зважений і прожарений до постійної маси тигель. Наважку спочатку обережно обвуглюють на невеликому полум'ї газового пальника або на електричній плитці до припинення виділення диму. Після обвуглювання навішування тигель ставлять у муфельну піч, нагріту до 500-600°C. Озолення ведуть до повного зникнення чорних частинок, поки колір золи не стане білим або злегка сіруватим. Після охолодження в ексикаторі тигель зважують, потім вдруге прожарюють протягом 30 хв. Озолення вважають закінченим, якщо маса тигеля із золою після повторного зважування змінилася не більше ніж на 0,0015 р.

2. Отриману загальну золу в тиглі змочують 30 см<sup>3</sup> розчину соляної кислоти, масовою часткою 10%, потім нагрівають на водяній бані протягом 30 хвилин і фільтрують через обеззолений фільтр, зливаючи рідину тонким струменем по скляній паличці. Тигель і паличку

кілька разів промивають. Фільтр промивають гарячою водою до зникнення реакції на хлор-іон. До декількох краплях фільтрату додають за годинниковою стрілкою 1 краплю концентрованої азотної кислоти і 1 краплю розчину азотнокислого срібла. Відсутність каламуті від випадуючого хлористого срібла вказує на відсутність іона хлору. Закінчення промивання фільтра визначають за універсальним індикаторним папером з рН від 1 до 10. Промивання вважають закінченим при рН 4-5. Фільтр з осадом підсушують в сушильній шафі. Потім спалюють і прожарюють до повного озолення [2]. Масову частку золи, нерозчинної в розчині соляної кислоти  $X_1$  у відсотках обчислюють за формулою:

$$x_1 = (m_1 - \frac{m}{m_2}) \times 100\%$$

Результати паралельних визначень обчислюють до третього десяткового знаку і округляють до другого десяткового знака. За остаточний результат аналізу приймають середньоарифметичне значення результатів двох паралельних визначень, допустимі розбіжності між якими в одній лабораторії не повинні перевищувати по абсолютній величині 0,02%, виконаних в різних лабораторіях - 0,03%. Межа допустимих значень похибки і вимірювання 0,03%.

Список літературних джерел:

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 11 лютого 1998 року, № 113/98-ВР.
2. М.А. Миколаєва - «Товарознавство» Ліфиць І.М. - «СМС» підручник для вузів Єрмілова І.А. - «Товарознавство та експертиза споживчих товарів».

УДК 006.9

**Н.І.Сторожук, студентка**

## **МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ НА ПРИКЛАДІ ВИРОБНИЦТВА ВАФЕЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ**

Ключові слова: метрологічне забезпечення виробництва, контроль якості продукції.

Вимірювання на виробництві призначені для отримання інформації про стан технологічного процесу. Метрологічне забезпечення виробництва (МЗВ) – це комплекс організаційно-технічних заходів, який забезпечує визначення з потрібною точністю характеристик виробів, вузлів, деталей, матеріалів і сировини, параметрів технологічних процесів і обладнання та дає змогу досягти значного підвищення якості продукції і зниження невиробничих затрат на її розроблення та виробництво. Метрологічне забезпечення виробництва охоплює всі стадії життєвого циклу продукції, починаючи з етапу науково-дослідницьких та експериментально-конструкторських робіт:

— підготовка сировини до виробництва: зберігання, змішування, просіювання і дозування борошна; підготовка питної води; приготування водного розчину суміші солі та соди, суміші рослинного масла і лецитину і подальшого приготування з цих компонентів концентрованої емульсії для тіста; подрібнення цукру-піску і вафельних обрізків; приготування водного розчину суміші лимонної кислоти і есенції, суміші жиру і лецитину і подальшого приготування з цих компонентів емульсії для начинки;

— приготування вафельного тіста: дозування борошна, води і концентрованої емульсії; заміс вафельного тесту;

— приготування начинки: дозування жиру, цукрової пудри та емульсії; заміс тіста;

— дозування вафельного тіста, виливок порцій тіста в вафельні форми і випікання вафельних листів;

— охолодження вафельних листів;

— приготування вафельних блоків;

— охолодження вафельних блоків;

— різка вафельних блоків на заготовки;

— пакування вафель у споживчу і торгову тару.



Контроль якості здійснюють за характером і якістю укладання. Для цього проводять огляд відкритих одиниць упаковки, в тому числі за станом поверхні і зовнішнім виглядом незагорнутих виробів, наявністю зволжених вафельних листів. Визначають порушення форми, будову на зломі, колір, якість начинки, смак і запах, розмір не менш як 5 штук прямокутних вафель з начинкою (довжина має становити не більш як 140мм, ширина — 70 мм, діаметр круглих вафель — не більш як 70 мм), кількість штук в 1 кг, масу нетто виробів у дрібній фасовці зважуванням виробів, які беруть з кожної відкритої одиниці упаковки, масу нетто виробів не менш як з двох коробок, співвідношення складових частин ваговим (прямим) і побічним методом.

Органолептичні показники якості вафель характеризують зовнішній вигляд, колір, смак та запах, будову у розломі та якість начинки.

МЗВ вафель виявляється у визначенні їх фізико-хімічних показників: масова частка загального цукру за цукрозою в перерахунку на суху речовину, масова частка жиру в перерахунку на суху речовину, масова частка вологи, лужність, масова частка золи, нерозчинної в розчині з масовою часткою соляної кислоти 10%.

Масова частка загального цукру за цукрозою для кожної назви вафель повинна бути відповідною до розрахункових значень за рецептурою з граничним відхиленням  $\pm 2,5\%$ , вафель для хворих на діабет — у більший бік не більше ніж на 2 %.

Масова частка ксиліту або сорбіту, в перерахунку на суху речовину, для кожної назви вафель повинна бути відповідною до розрахункового вмісту за рецептурою з відхиленням  $\pm 3,0\%$ .

Масова частка жиру для кожної назви вафель повинна бути відповідною до розрахункового вмісту за рецептурою з граничним відхиленням  $\pm 2,0\%$ .

Вологість у вафлях з начинкою повинна становити від 0,3 до 32 % в залежності від виду начинки. Найбільшу вологість мають вафлі з желеюю начинкою (16-32 %), а найнижчу — праліноюю або типу праліне (0,3-4 %). Масова частка вологи для кожної назви вафель повинна бути відповідною до рецептур з врахуванням граничних відхилень. Допускається перевищення нижньої границі відхилень за вмістом вологи. Вологість вафель без начинки повинна становити в межах від 1 до 4,5%.

Масова частка шоколадної, кондитерської та жирової глазури у глазурованих вафлях повинна бути відповідною до розрахункового вмісту за рецептурами з граничним відхиленням  $\pm 3,0\%$ .

Під час зберігання понад 2/3 терміну придатності до споживання допускається збільшення вмісту вологи до плюс 1,5% від граничних рецептурних відхилень.

Співвідношення вафельного листа і начинки повинно бути відповідним до розрахункових значень за рецептурою з граничним відхиленням  $\pm 5\%$ .

Таким чином, метрологічне забезпечення та контроль якості стосуються всіх сфер діяльності та важливі для забезпечення безпечності продукції та послуг.

Список літературних джерел:

1. Бичківський Р.В., Зорій В.І., Столярчук П.Г. Основи метрологічного забезпечення: Навч. посібник. – Львів: Видавництво Держ. ун-ту «Львівська політехніка», 1999. – 180 с.

2. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 11 лютого 1998 року, № 113/98-ВР.

3. І.В. Сирохман. Асортимент і якість кондитерських виробів

**В.Н. Тихенко, д. т. н., профессор; Т.С. Антоненко, соискатель**

## **ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ ПСИХРОМЕТРА ТМ-6**

Ключевые слова: неопределенность, погрешность, влажность, модельное уравнение, психрометр, случайные эффекты, коэффициент Ст'юдента

Перед проведением сертификационных испытаний часто измеряют параметры окружающей среды: температуру, влажность, давление. Но не бывает абсолютно точных измерений, поскольку результат зависит от измерительной системы, метода измерений, опыта персонала, условий окружающей среды и других параметров. Даже если сделать несколько измерений по одной методике и при одних и тех же условиях получается каждый раз немного различные результаты.

Так, например, многократные измерения (5 изм.) влажности окружающей среды с помощью психрометра ТМ-6 с ценой деления 0,2% и пределом допускаемой погрешности  $\pm 2,0\%$  в диапазоне температур  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$  показали следующие (см. Табл. 1) :

Таблица 1. Результаты измерений влажности окружающей среды

Название прибора	Результаты измерений				
	№1	№2	№3	№4	№5
Психрометр ТМ-6	60,5%	60,2%	60%	59,9%	59,9%

Оценим расширенную неопределенность результатов измерения влажности окружающей среды для уровня доверия  $p = 0,95$ .

Для построения модельного уравнения идентифицируем основные существенные источники неопределенности измерения влажности окружающей среды  $\varphi$ . В данном случае таковыми являются:

- неточности (погрешность) психрометра;
- неточности считывания показаний психрометра оператором;
- влияние случайных эффектов.

С учетом этих источников модельное уравнение примет вид:

$$\varphi = \varphi_0 + \Delta_{\varphi_0} + \Delta_{\varphi}^0$$

где:  $\varphi_0$ - показания психрометра при измерении влажности окружающей среды при  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  при отсутствии случайных эффектов;

$\Delta_{\varphi_0}$  - погрешность считывания показаний оператором;

$\Delta_{\varphi}^0$  - погрешность из-за воздействия случайных эффектов.

Неопределенность величины  $\varphi_0$  обусловлена тем, что психрометр не является абсолютно точным, то есть имеет погрешность. Вклад неточности психрометра в неопределенность оценим по типу В. Поскольку, согласно паспорту погрешность психрометра составляет  $\pm 0,2\%$  (если бы превышала, то во время поверки психрометр был бы забракован), то результат измерения за счет неточности психрометра не может быть смещен более чем на 0,2%. Таким образом, правая граница распределения составляет  $b = (\varphi_0 + 0,2)\%$ , левая -  $a = (\varphi_0 - 0,2)\%$ .

Погрешность может быть как со знаком плюс, так и со знаком минус. Поскольку реальный вид закона распределения погрешности психрометра неизвестный, принимаем за такой равномерный. В этом случае

$$u_B(\varphi_0) = \frac{b-a}{2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{(\varphi_0 + 0,2) - (\varphi_0 - 0,2)}{2 \cdot \sqrt{3}} \% = \frac{0,2}{\sqrt{3}} \% = 0,1154\%$$

Неточность считывания показаний психрометра не превышает половины цены деления психрометра, то есть  $0,2/2=0,1\%$ . Тогда стандартная неопределенность, обусловленная неточностью считывания показаний [1, 4-6]

$$u_B(\Delta_0) = \frac{0,1 - (-0,1)}{2 \cdot \sqrt{3}} \% = 0,0577\%$$

Для оценки неопределенности измерений, обусловленной вкладом случайных эффектов, было проведено 5 повторных измерений влажности окружающей среды одним и тем же оператором в одних и тех же условиях, по результатам которых получена статистическая оценка среднего квадратического отклонения ряда результатов измерения:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^5 (\varphi_i - \bar{\varphi})^2 / (5-1)} = 0,2549\%$$

где  $\varphi_i$  - результат  $i$ -го измерения влажности;

$\bar{\varphi}$  - среднее арифметическое из пяти результатов измерения влажности.

Подставив соответствующие значения, получим:

$$\bar{\varphi} = (60,5 + 60,2 + 60 + 59,9 + 59,9) / 5 = 60,1\%$$

$$s = \sqrt{(0,4)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2 + (-0,2)^2 + (-0,2)^2 / (5-1)} \% = 0,2549\%$$

Таким образом, имеем  $u_A(\Delta_\varphi^0) = 0,2549\%$ .

Пользуясь модельным уравнением, найдем значения коэффициентов влияния  $\partial l / \partial x_i$  (модельное уравнение строится для того, чтобы можно было найти коэффициенты влияния). Тут  $\varphi_i$  - входные величины. Как видно из модельного уравнения, значения всех коэффициентов влияния уровня 1.

Все источники неопределенности являются независимыми друг от друга, поэтому значения коэффициентов корреляции положим равным нулю (корреляция между любой парой входных величин отсутствует).

Суммарную стандартную неопределенность оценим исходя из формулы для некоррелированных входных величин:

$$u(\varphi) = \sqrt{u_B^2(\varphi_0) + u_B^2(\Delta_{\varphi_0}) + u_A^2(\Delta_\varphi^0)}$$

Подставив соответствующие значения, получим:

$$u(\varphi) = \sqrt{(0,1154)^2 + (0,0577)^2 + (0,2549)^2} \% = 0,4261\%$$

Расширенную неопределенность для  $p = 0,95$  Оценим за формулой

$$U(\varphi) = t(0,95, \nu) \cdot u(\varphi)$$

где  $t(0,95, \nu)$  - коэффициент Ст'юдента для уровня доверия 0,95 и числа эффективных степеней свободы  $\nu$ .

Число степеней свободы найдем по формуле Велча-Сатерштейта [2, 157-238]:

$$v = \frac{u^4(\varphi)}{\frac{u_B^4(\varphi_0)}{\infty} + \frac{u_B^4(\Delta_{\varphi_0})}{\infty} + \frac{u_A^4(\Delta_{\varphi}^0)}{5-1}} = 4 \cdot \frac{(0,1154)^4}{(0,2549)^4} = 0,167$$

Тогда по таблице найдем, что  $t(0,95,1) = 4$ .

Таким образом,  $U(\varphi) = 4 \cdot 0,4261\% = 1,7044\%$  для  $p = 0,95$  (см. Табл.2).

Таблица 2. Бюджет неопределенности

Входящая величина	Стандартная неопределенность, %	Число степеней свободы	Распределение вероятностей	Коэффициент чувствительности	Вклад в неопределенность
$\varphi_0$	0,1154	$\infty$	Равномерный	1	0,1154
$\Delta_{\varphi_0}$	0,0577	$\infty$	Равномерный	1	0,0577
$\Delta_{\varphi}^0$	0,2549	4	Нормальный	1	0,2549
$\varphi$	0,4261	1	Нормальный	$U(\varphi) = 1,7044\%$ , $p = 0,95$	

Анализ бюджета неопределенности показывает, что основной вклад в неопределенность дают случайные эффекты. Поэтому, если точность необходимо повысить, в первую очередь внимание следует обратить на источник. Вклад данного источника можно уменьшить путем проведения нескольких параллельных измерений с последующим усреднением результата.

Список литературных источников:

1. РМГ 43-2001 Государственная система обеспечения единства измерений. Применение "Руководства по выражению неопределенности измерений" / ИПК Издательство стандартов № 2003
2. Захаров И.П., Кукуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях. Учеб. пособие: - Харьков, Консум, 2002 - 256 с.

**І.В. Коваленко, асистент; В.В. Кійко, асистент**

## **ПРОБЛЕМИ РОЗРАХУНКУ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В ВИПРОБУВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЯХ**

Ключові слова: вимірювання, калібрування, метрологія та метрологічна діяльність, система технічного регулювання.

У зв'язку з прийняттям нового Закону України "Про метрологію та метрологічну діяльність", метою якого є наближення української системи технічного регулювання до європейської системи, стає важливим впровадження в вимірювальних лабораторіях процедур контролю достовірності випробувань та розрахунку невизначеності вимірювання.

Основною вимогою до випробувальних лабораторій є «калібрування» обладнання

Проблемами випробувальних лабораторій стало виконання вимог політик як НААУ, так і державного законодавства, а також реальне використання отриманих метрологічних характеристик для видання замовникові результату випробувань з урахуванням значень вже каліброваного обладнання.

Треба зазначити, що калібрування кожного засобу вимірювальної техніки проводяться для сталого діапазону та може варіюватися в певних межах, які треба коригувати після кожного проведення вище зазначеної процедури. Крім того, складання бюджету невизначеності вимірювання потребує досконального знання технологічного процесу проведення випробування та джерел невизначеності.

Більшість вимірювань не є прямими, а проводяться за допомогою сукупності вимірювальних приладів з різними діапазонами вимірювань. Вимірювання відрізняються за кількістю, тому в деяких випадках потрібно обробляти багатократні вимірювання, контролюючи явні промахи. Крім того, деякі величини вимірюються за допомогою вимірювального каналу, який не калібрується, а можна визначити лише похибку вимірювання. Тому процес розрахунку невизначеності займає багато часу в персоналі лабораторії.

З метою автоматизації процесу розрахунку невизначеності для випробувальної лабораторії засобів індивідуального захисту органів дихання було розроблено та практично впроваджено програму з розрахунку невизначеності «*Uncertainty*».

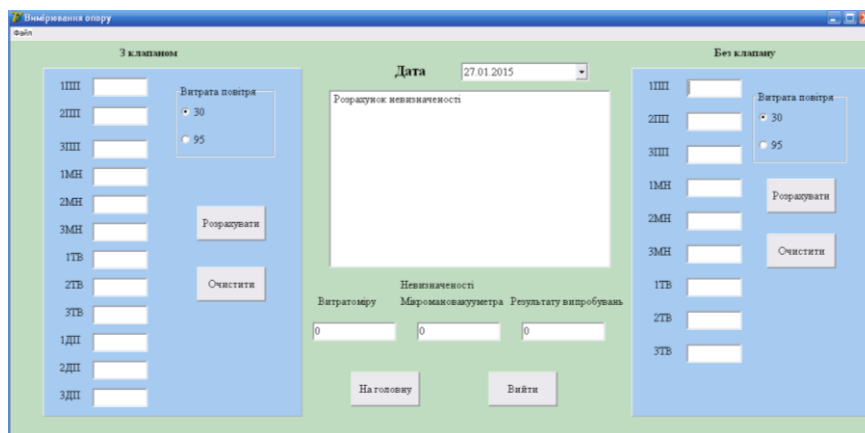


Рис. 1. Вікно для розрахунку невизначеності вимірювання опору за ДСТУ EN 149

Програма враховує усі джерела невизначеності, що можуть впливати на отриманий результат випробувань, аналізує їх та видає кінцевий результат. Дана програма проводить розрахунок невизначеності вимірювань та виводить операторові отриманий результат з урахуванням вимог стандартів до кінцевого результату.

Список літературних джерел:

1. Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність". [Текст]: офіційне видання. Серія "Закони України" / Верховна Рада України. - К.: Парламентське видавництво, 2014. – 42 с.
2. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань: Навч. посібник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – 624 с.

І.А. Омельчук

**ВИКОРИСТАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ  
ВИМІРЮВАННЯ ДЛЯ ОЦІНЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВТ  
ПРИ КАЛІБРУВАННІ**

Ключові слова: калібрування, невизначеність, правильність, збіжність, відтворюваність, між калібрувальний інтервал

У даній роботі розглянуто основні напрямки та принципи оцінки якості роботи обладнання з точки зору метрологічних характеристик. Також запропоновано метод прогнозування метрологічної справності, заснований на обмеженому об'ємі вимірних даних, який дозволить провести попередню оцінку кількості вимірювань конкретного приладу до першого виходу похибки вимірювань за встановлені межі.

З вводом в експлуатацію новітніх технологічних ліній та сучасного лабораторного обладнання все більш актуальною постає проблема неефективності прийнятих традиційних методів контролю похибок промислових, лабораторних ЗВТ та технологічного обладнання.

Окрім того – стандартизовані підходи до контролю метрологічних характеристик оперують з певним типом ЗВТ і зовсім не охоплюють одиночного приладу, з урахуванням особливостей його роботи.

В такому випадку постає питання - яким чином визначити якість роботи обладнання. Не лише констатувати факт – працює чи ні, а й оцінити кількісно, наскільки відповідає чи ні прилад критеріям точності.

Існуючі методи. Основою загальноприйнятого підходу гарантування метрологічної надійності ЗВТ є призначення одного міжкалібрувального та міжповірочного інтервалу для всіх ЗВТ одного типу розв'язанням задачі оптимізації міжкалібрувального інтервалу за критерієм мінімізації сукупних витрат [9]: –На жаль, в умовах проведення калібрування в умовах випробувальної лабораторії, чи технологічних умовах автоматичної лінії, початкових даних для коректного й однозначного вирішення цього завдання зазвичай недостатньо.

Звідси можна зробити висновок, що в умовах відсутності науково обґрунтованого методичного забезпечення оцінювання метрологічної надійності важливо здійснювати контроль метрологічної справності ЗВТ у період між плановими калібруваннями. 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.

Подібні методи розглядаються при валідації методик вимірювання, для доказу того, що обрана лабораторією послідовність дій призводить до правильного результату.

Під час проведення валідації – вводяться нові терміни та поняття.

Правильність (trueness) - ступінь наближення середнього значення, одержаного на основі великої серії результатів вимірювань (чи результатів випробувань), до прийнятого опорного значення (ДСТУ ГОСТ ISO 5725) [16]...

Прецизійність (precision) - ступінь наближення один до одного незалежних результатів вимірювань, одержаних в конкретних регламентованих умовах (ДСТУ ГОСТ ISO 5725).[16].

Збіжність (repeatability) - прецизійність в умовах збіжності (ISO 3534-1 [17]).

Відтворюваність (reproducibility) - прецизійність в умовах відтворності (ISO 3534-1 [17]).

Внутрішньо лабораторна відтворюваність – прецизійність в умовах внутрішньо лабораторної відтворюваності.

Дані поняття описують якість проведення робіт, в лабораторних умовах, та при модифікації і оптимізації - даний алгоритм можна застосувати для оцінювання якості роботи самого обладнання, з точки зору метрологічних характеристик.

Статистичні методи обробки результатів є більш гнучким щодо можливості оцінювання конкретного ЗВТ та їх використання дозволяє провести аналіз якості результатів вимірювань, приладу, навіть за умови обмеженої можливості використання еталонної бази, та з невеликим масивом вхідних даних.

Мета і задачі дослідження

Метою розробки є 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.

Калібрування проводить один, чи два спеціаліста калібрувальної лабораторії. Виконується шість серій вимірювань по п'ять вимірювань в кожній серії кожним спеціалістом, чи одним двічі.

Кожна серія вимірювань в умовах збіжності. Від серії до серії умови калібрування, тип еталону, та оператор не змінюються. Після проведення вимірювання одним оператором – прилад зупиняється, та проводиться друга хвиля вимірювань, з ввімкнення та прогрівом приладу (виходом його на режим вимірювання).

Всі результати заносяться до протоколу, та обробляються наступним чином:

по кожному з операторів проводиться розрахунок розширеної невизначеності за стандартною процедурою;

дані, отримані в процесі розрахунку невизначеності, використовуються як вхідні при оцінюванні правильності збіжності та відтворюваності результату.

Обрахунки проводяться наступним чином:

1. Визначається середнє арифметичне між значеннями обох операторів для кожної серед 6 серій вимірювання: 
$$\bar{X}_j = \frac{1}{2}(\bar{q}_j1 + \bar{q}_j2) \quad (1);$$

Де:  $\bar{q}_j1, \bar{q}_j2$  - середнє арифметичне серед мірювання в серії; j – номер серії.

Внутрішньо - серійне стандартне відхилення між результатами двох операторів

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_{ji} - \bar{X}_j)^2} \quad (2);$$

Де:  $x_{ji}$  порядковий номер вимірювання

i – номер вимірювання в серії; j – номер серії.

n – кількість вимірювань в серії.

Перевіряється гіпотеза про рівність дисперсій в серіях  $S_1^2, \dots, S_L^2$  за критерієм Кохрена. Для чого розраховується: 1) середньоквадратичне відхилення збіжності:

$$\sigma_r \approx S_r = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^L S_j^2}{L}} = \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_L^2}{L}} \quad (3);$$

2. Границю збіжності (допустиме розходження між результатами паралельних визначень):

$$r = Q(P, n) \cdot \sigma_r, \quad (4);$$

де  $Q(P, n) \cdot \sigma$  : квантиль Стьюдента.

3. Спільне середнє

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^L \bar{X}_j}{L} \quad (5);$$

Де: L - кількість серій вимірювання.

4. Міжсерійне середнє квадратичне відхилення

$$S_B = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^L (\bar{X}_j - \bar{X})^2}{L-1}} \quad (6);$$

Де: L - кількість серій вимірювання, j – номер серії.

5. Середньоквадратичне відхилення результатів в умовах внутрішньо лабораторної відтворюваності.

$$S_R = \sqrt{S_B^2 + \frac{S_r^2}{n}} \quad (7);$$

Де: n - кількість вимірювань в серії.

6. Границя внутрішньо лабораторної відтворюваності  $R = 2,77 \cdot S_R$  (8);

$$\sum_{j=1}^L B_j \quad (9);$$

Оцінюється систематична похибка  $B = \bar{B} = \frac{\sum_{j=1}^L B_j}{L} = \bar{X} - C$  (10);

Де: C – атестоване значення еталона або стандартного зразка (СЗ),

$U$  – розширена невизначеність атестованого значення для рівня довіри  $P = 0,95$ . (ці дані наводяться в сертифікаті на еталон СЗ чи в свідоцтві про атестацію).

Міжсерійне середнє квадратичне відхилення 
$$S_B = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^L (\bar{X}_j - \bar{X})^2}{L-1}} \quad (11);$$

Де:  $L$  - кількість серій вимірювання,  $j$  – номер серії.

Перевіряється значимість систематичної похибки в порівнянні з випадковим розкидом результатів за критерієм Ст'юдента:

$$t_{кр.} = \frac{|B|}{\sqrt{\frac{S_B^2}{L} + \left(\frac{U}{2}\right)^2}} \quad (12);$$

Де:  $C$  – атестоване значення еталона або стандартного зразка (СЗ),  
 $U$  – розширена невизначеність атестованого значення для рівня довіри  $P = 0,95$ . (ці дані наводяться в сертифікаті на еталон ).

За таблицею знаходять коефіцієнт Ст'юдента  $t_S$  для числа ступенів свободи  $f = L-1$  та рівня значимості  $\alpha = 1 - 0,95 = 0,05$

За умови, що  $t_{кр.} \leq t_S$ , систематична похибка не є значимою.

Це є ознакою того, правильність результату вимірювання є задовільною, розкид результатів вимірювання складає лише випадкова похибка.

Наступним кроком є визначення рівня випадкової похибки, для оцінення якої запропоновано використати оцінення значимості коефіцієнта кореляції.

В даному випадку, вхідними даними є результати вимірювання обох операторів, кореляція між якими і оцінюється.

Слід зазначити, що розраховується саме математичний коефіцієнт кореляції між двома масивами чисел, який характеризує ступінь наближення їх один до одного. Даний обрахунок не слід сплутувати з кореляцією результатів вимірювань. Результати вимірювань є некорельованими.

$$r_{i,k} = \frac{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_k)}{u(x_i)u(x_k)} \quad (13);$$

Оцінюється значимість обрахованого коефіцієнта кореляції:

$$\frac{|r_{i,k}|}{\sqrt{1-r_{i,k}^2}} \sqrt{n-2} \leq t_p(n-2) \quad (14);$$

Де:  $t_p$ -коефіцієнт Ст'юдента для числа ступенів свободи  $n-2$ .

Дотримання даної нерівності – є ознакою того, що систематична похибка є незначною, та відтворюваність результату вимірювання є задовільною.

Окрім того, представивши результати розрахунків внутрішньо - серійного стандартного відхилення у вигляді графіка, та врахувавши те, що кожне наступне вимірювання проходить з поверненням ЗВТ в нульове значення - результат дорівнює нулю, можна представити ЗВТ в вигляді складного маятника, амплітудою коливаний якого є виміряне значення певної фізичної величини. Або коливальної ланки, з наступною передатною функцією

$$T^2 y''(t) + 2\xi T y'(t) + y(t) = kx(t) \quad (15);$$

Серія 1	0,02598
Серія 2	0,01370
Серія 3	0,03967
Серія 4	0,03526
Серія 5	0,02356
Серія 6	0,01266

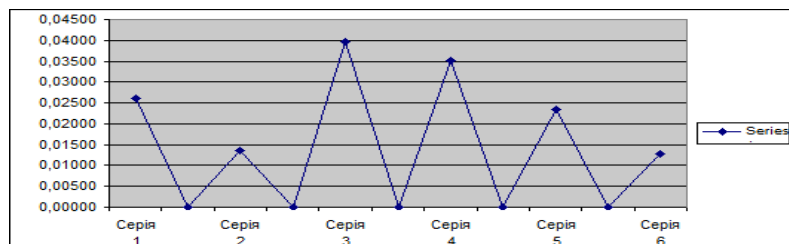


Рис. 2. Результати розрахунків внутрішньо - серійного стандартного відхилення у вигляді графіка

Таким чином, визначивши параметри даної коливальної ланки – можна проаналізувати її поведінку в часі, та спрогнозувати період часу, за який амплітуда коливаний досягне амплітуди, що перевищу допустимий рівень для заданого технологічного процесу.



Отже - застосування методу статистичної обробки результатів вимірювань дозволить провести попередній прогноз поведінки окремого конкретного взятого ЗВТ в часі, за даними отриманих результатів, що дасть змогу оцінити інтервал, на протязі якого можлива його робота з метрологічною справністю.

Використання методів статистичної обробки результатів покращить процес метрологічного контролю в лабораторіях та на підприємствах, за рахунок отримання між контрольного інтервалу, розрахованого індивідуально для кожного приладу, що працює в конкретних умовах.

Отримання користувачем реального часу напрацювання, до метрологічної відмови сприятиме формуванню більш гнучкого графіка калібрування та юстування того, чи іншого ЗВТ, що контролює певні параметри технологічного процесу, та призведе до покращення якості продукції за рахунок зменшення браку.

Загалом – впровадження в практичну діяльність запропонованого методу, дасть значний економічний ефект на підприємствах за рахунок зменшення проценту браку, та оптимізацію витрат на метрологічне забезпечення.

Список літературних джерел:

1. Сайт Верховної ради України / <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>
2. Рекомендації EUROLAB–Україна по впровадженню вимог ISO/IEC 17025: 2005 в практику испытательных и калибровочных лабораторий
3. EA - 4/02 Выражение неопределенности измерения при калибровках
4. РМГ 74- 2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.
5. ГОСТ 8.565-99. ГСИ. Порядок установления и корректировки межповерочных интервалов эталонов.
6. ILAC-G24:2007 / OIML D 10:2007 (E) Рекомендації по визначенню частоти калібрувань вимірювальних приладів.
7. The Fitness for Purpose of Analytical Methods A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics EURACHEM Guide
8. Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results NIST Technical Note 1297 1994 Edition.
9. Center for Drug Evaluation and Research (CDER) Reviewer Guidance Validation of Chromatographic Methods
10. ДСТУ ГОСТ ИСО 5725: 2005. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 1-6.
11. ISO 3534-1:2006. Статистика. Словарь и условные обозначения. Часть 1. Общие статистические термины и термины, используемые в теории вероятности

**Й.Й.Білінський, д.т.н, проф.; О.П.Керсов; М.О.Стасюк**

## **МЕТОД РОЗШИРЕННЯ ДІАпазону ВИМІРЮВАННЯ РІЗНИЦІ ФАЗ**

Ключові слова: різниця фаз, діапазон зміни фази, мікроконтролер, зміна амплітуди сигналу, складний сигнал, синтез сигналів.

Вимірювання різниці фаз є важливою задачею сучасності та використовується в багатьох галузях науки і промисловості, таких як радіолокація, радіонавігація, радіофізика та ін. Крім того фазові вимірювання використовуються у приладах для виміру відстаней, геометричних та фізичних параметрів об'єктів [1].

На сьогодні відомо багато методів вимірювання різниці фаз, але вони мають обмежений діапазон вимірювань, так, наприклад, у роботі [1] пропонується метод вимірювання фазового зсуву у широкому діапазоні з використанням штучної затримки одного з сигналів, проте, такий метод не є автоматичним так як потребує корегування штучної затримки в разі зміни зсуву вимірюваного сигналу. У роботі [3] запропоновано розширення діапазону вимірювання різниці фаз методом підрахунку фазових циклів, проте, неможливо точно визначити початковий фазовий зсув, якщо він більше  $2\pi$ . У роботі [4] запропоновано метод розширення діапазону вимірювання різниці фаз методом формування імпульсів прив'язки в моменти переходів вимірюваного і опорного сигналів через нульовий рівень і отримання результатів вимірювання шляхом підрахунку квантуючих імпульсів, проте, також неможливо визначити початковий фазовий зсув, якщо він більше  $2\pi$ . Тому на сьогодні актуальною є задача розширення діапазону вимірювання різниці фаз.

Сучасні мікроконтролери дозволяють генерувати не тільки цифрові а й аналогові сигнали. Причому, такі аналогові сигнали можуть приймати значення та частоти з широкого спектру. Це дозволяє отримувати високочастотні сигнали складної форми з мінімальним використанням допоміжних електронних компонентів, що дає змогу значно спростити конструкцію та проектування такої системи, та дозволяє змінювати параметри такого сигналу навіть в ході роботи. До того ж мікроконтролер може одночасно з генеруванням такого сигналу виконувати порівняння опорного та вимірюваного сигналів певним методом та обчислювати результуюче значення фазового зсуву та виконувати інші необхідні операції.

Такий сигнал складної форми являє собою комбінацію двох або більше синусоїдних складових з частотою  $f$  різної амплітуди, кожна з яких має протяжність в один період. Причому, всі складові окрім першої повинні мати відмінну від неї амплітуду з різницею, достатньою для виявлення за допомогою технічних засобів.

У роботі пропонується метод розширення діапазону вимірювання різниці фаз, оснований на використанні складного сигналу змінної амплітуди, який здатні генерувати сучасні мікроконтролери, що дозволяє однозначно визначити різницю фаз у діапазоні більше  $2\pi$  навіть на початку вимірювань.

Список літературних джерел:

1. Квочкин А. И. Параметрический метод определения разности фаз квазигармонических сигналов / А. И. Квочкин, А. В. Никитин, В. К. Игнатъев. // Инженерный вестник Дона. – 2013. – №3.
2. Воронов А. С. Измерение разности фаз сигналов / А. С. Воронов. // Горизонты образования. – 2007. – №9.
3. Пат. 1337819 А1 СРСР, МПК<sup>4</sup> G 01 R 25/08. Устройство счета фазовых циклов / Троцишин И. В.; заявитель и патентообладатель Винницкий политехнический институт - № 274221; заявл. 04.03.86; опубл. 15.09.87, Бюл. № 34. - 3 с.
4. Пат. 1524684А1 СРСР, МПК<sup>4</sup> G 01 R 25/00. Способ цифрового измерения фазового сдвига и устройство для его осуществления / Чепурных С. В, Чмых М. К.; заявитель и патентообладатель Красноярский политехнический институт - № 4277472; заявл. 06.07.1987; опубл. 27.01.1996.

Т.Г. Бойко, д.т.н., проф.; Т.В. Рябкова, аспірант

## ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЯ НЕБЕЗПЕКИ ЗДІЙСНЕННЯ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Ключові слова: безпека господарської діяльності, небезпечний чинник, оцінка небезпечного чинника, програма-передумова, виробничий ланцюг, ризик

Здійснення господарської діяльності в Україні відбувається в умовах нестабільності та невизначеності, що підсилюються як загальносвітовою кризою, так і локальними проблемами. Тому все більшої уваги вимагає безпека здійснення господарської діяльності [1], що потребує оцінювання ступеня небезпеки та, зокрема, управління ризиками суб'єктів господарювання. Основним поняттям, за яким визначатиметься безпека здійснення господарської діяльності є *небезпечний чинник* (англ. *hazard*). Це будь-який біологічний, хімічний, фізичний чи інший агент, або такий стан господарювання, що потенційно може спричинити негативний вплив на довкілля.

Оцінювання ступеня небезпеки вважають найбільш перспективним підходом щодо безпеки суб'єктів господарської діяльності. Концепція оцінювання ступеня небезпеки полягає у визначенні і отриманні оцінки несприятливої події, яка враховує не тільки ймовірність цієї події, але й також розмір всіх можливих її наслідків [2]. Ймовірність події, чи процесу при такому підході розглядається як один із компонентів ризику, а міра наслідків (втрат) – як другий. Таке двомірне вираження ризику використовується у процесі кількісного оцінювання небезпеки.

З метою оцінювання ступеня небезпеки, а саме отримання значення розміру втрат – одного із двох компонентів ризику пропонується використовувати оцінку «втрати якості». Введене поняття потребує пояснення. Нехає є об'єкт, який за певних обставин може стати «жертвою» потенційної небезпеки. Строго це означатиме, що під дією небезпечного чинника об'єкт втрачатиме свої позитивні властивості - відповідність призначенню, безпечність, функціональність тощо. Перелічене, як відомо [3], характеризує якість об'єкту. Якщо його «якість», як сукупність всіх оцінених властивостей, прямує до одиниці, то «втрата якості» через вплив небезпечних чинників прямує до нуля і навпаки. Якість, як відомо [3], можна оцінити за методологією кваліметрії використовуючи показники якості, якими в нашому випадку будуть ті показники, які є «чутливими» до джерела потенційної небезпеки. Внесок кожного показника в загальну оцінку традиційно виражають через коефіцієнти вагомості. Так, значення комплексного показника якості за окремим об'єктом виражатиметься як:

$$U_j = f(q_{j1}w_{j1}, q_{j2}w_{j2}, \dots, q_{ji}w_{ji}) \quad (1)$$

де -  $q_{j1}, q_{j2}, \dots, q_{ji}$  – показники властивостей суб'єкта господарювання, що зміняться із впливом несприятливої події  $j$ ;  $w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{ji}$  – множина вагових коефіцієнтів для кожного показника  $q_{ji}$ .

Тоді значення узагальненого комплексного показника якості за всіма  $m$  потенційно ураженими критеріями суб'єкта господарювання:

$$U = \sum_{j=1}^m U_j \times L_j, \quad (2)$$

де  $L_j$  - коефіцієнт, який враховуватиме значимість кожного критерія суб'єкта господарювання, на який вплинула несприятлива подія.

Компонента ризику, що визначатиметься розміром втрат внаслідок певної несприятливої події, буде знаходитись як відхилення отриманої кваліметричної оцінки від «одиниці»:

$$R = 1 - U = 1 - \sum_{j=1}^m U_j \times L_j. \quad (3)$$

Вірогідність небезпеки (другу складову ризику) слід визначати базуючись на так званій *програмі-передумові* (англ. *prerequisite programme - PRP*) безпеки господарської діяльності, якою є базові умови та діяльність, необхідні для підтримання потрібної стану довкілля протягом всього часу ведення цієї діяльності. Окрема програма-передумова є специфічною в кожній окремій галузі і залежить від сегмента, в якому працює організація, та типу організації. Наприклад, нею може бути: Належна сільськогосподарська практика (GAP), Належна ветеринарна практика (GVP), Належна

виробнича практика (GMP), Належна гігієнічна практика (GHP), Належна практика первинного виробництва (GPP), Належна дистрибуторська практика (GDP) і Належна торговельна практика (GTP).

Будь-якій господарській діяльності, а також продукції, яка є продуктом цієї діяльності, властивим є так званий «життєвий цикл» або інакше *виробничий ланцюг* (англ. *production chain*), яким є будь-яка послідовність стадій і певних операцій виготовлення, оброблення, розподілення, зберігання виробів та їхніх інгредієнтів і користування ними.

Конкретизована для певної конкретної діяльності так звана *операційна програма-передумова* (англ. *Operational prerequisite programme*) - це ПП, що містить ідентифікацію та аналіз небезпечних чинників, які суттєво важливі для керування вірогідністю їх виникнення в процесі реалізації господарської діяльності. Ідентифікація, аналіз і встановлення значень ймовірності відбувається експертним шляхом із залученням, наприклад, методу безпосереднього оцінювання. Діапазон зміни певної кількісної змінної, в нашому випадку ймовірності виникнення небезпеки, розбивається на кілька інтервалів, кожному з яких присвоюють певний безрозмірний розрахунковий бал в діапазоні від 0 до 1.

Зокрема операційна програма-передумова складатиметься з таких елементів – ідентифікації небезпечних чинників, яка міститиме причини їх виникнення, самі небезпечні чинники, а також негативні впливи – втрати; переліку критичних точок керування – стадій, з якими слід пов'язати виникнення тих чи інших небезпечних чинників і таблиці ризиків тобто значень оцінок розміру та вірогідності для тієї чи іншої втрати. Очевидно, що в підсумку отримують узагальнену таблицю, в якій отримуємо критичні точки керування протягом всього виробничого ланцюга і властиві їм ризики. Процес формування таблиці завершується встановленням апріорної оцінки кожного небезпечного чинника, яку визначають експерти використовуючи фонд відносно достовірної інформації на основі інженерної інтуїції. Наприклад, оцінку одержують з врахуванням передбачуваної функції розподілу імовірності шляхом прогнозування, що базується на впевненості в тім, що подія відбудеться (ця імовірність часто називається суб'єктивною імовірністю). Апріорний ризик в жодному разі не слід вважати остаточною оцінкою, однак його можна розцінювати як робочу гіпотезу, яка може бути спростована або підтверджена з використанням більш строгого апарату оцінювання.

Отже, визначення ризику несприятливої події шляхом оцінки «втрати якості» і ймовірності цієї втрати створить можливість більш ефективно оцінювати ступінь небезпеки, що в свою чергу наблизить до реального кількісного значення безпеки здійснення господарської діяльності.

Список літературних джерел:

1. Ареф'єва О.В. Планування економічної безпеки підприємств / Ареф'єва О.В., Кузенко Т.Б., Європейський ун-т. – К.: Видавництво Європейського ун-ту, 2004. – 169 с.: рис., табл. – Бібліогр.: С.160-169.

2. Ризик. Основні поняття / С.М. Орел, М.С. Мальований. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2008. – 88 с.

3. Бойко Т.Г. Формування теоретичних та нормативно-технічних засад оцінювання якісного рівня продукції: автореф. дис. док-ра. техн. наук: 05.01.02 / Т.Г. Бойко; [Національний університет "Львівська політехніка"]. – Львів, 2010. – 34 с.

**В.Ю. Кучерук, д.т.н., проф.; І.А. Дудатьєв, асистент**

**МОДЕЛІ АДАПТАЦІЇ ЗАСОБУ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ ДИМОВИХ ГАЗІВ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК**

Ключові слова: адаптація, засіб контролю, сенсори, котельні установки.

Основна частина. У [1] розглядається підхід для адаптації складних об'єктів. Пропонується загальну задачу адаптації розділяти на дві: "внутрішню" та "зовнішню" адаптації. Корелюючи даний підхід до задач роботи приймемо, що факторами "внутрішньої" адаптації є зміна впливних величин (тиск, температура, вологість, запиленість, концентрація CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>), а при "зовнішній" сам об'єкт (тобто тип або модель котла, на якому проводиться робота).

Отже, представимо узагальнену структурну модель "внутрішньої" адаптації (без зміни об'єкта) на рис. 1.

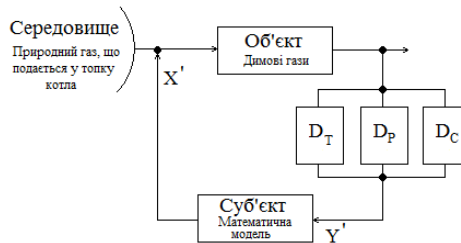


Рис. 1. Модель адаптації (без зміни об'єкта)

На рис. 2 система сенсорів D<sub>T</sub>, D<sub>P</sub>, D<sub>C</sub> сприймає інформативні параметри об'єкта. Інформація (X', Y') утворює сенсорне середовище суб'єкта, а саме ту частину, яку він здатний сприйняти своїми сенсорами. При відхиленні будь-яких параметрів від умовної норми відбувається підлаштування моделі. Слід зазначити, що дане підлаштування присутнє на кожному кроці контролю, причому вихідною інформацією для нього є неузгодженість відгуків об'єкта і моделі, усунення якої і реалізує процес адаптації. Зрозуміло, що на реальних об'єктах цей процес є неперервним у часі.

На рис. 2 розглянемо узагальнену структурну модель зовнішньої адаптації (при зміні об'єкту).



Рис. 2. Модель адаптації (при зміні об'єкта)

Відразу зазначимо з якими типами КУ можлива "зовнішня" адаптація і, як наслідок, адаптація в цілому (рис. 3)



Рис.3. Класифікація КУ за типом палива

З рис. 3 видно, що засіб контролю концентрації компонентів димових газів котельних установок сумісний з усіма типами КУ установок, що працюють на природному газу. Також засіб контролю є сумісний з іншими класифікаційними ознаками газових КУ, а саме: за типом котлів (парові, водогрійні, змішані, діатермічні); за призначенням теплового навантаження (опалювальні, виробничі, змішані); за типом розташування.

Зрозуміло, що необхідно знайти такі параметри "зовнішньої" адаптації, регуляція яких дозволяла вирішити поставлені задачі. В якості таких параметрів використано концентрацію кисню у димових газах та тип котла і відповідно КНП, який є головним показником ефективності роботи котла.

Основні типи котлів та їх оптимальних КНП представлено на рис. 4.

	Значение	Адрес	Тип	Симв.-Комментарий
1	1.25	MW 10	INT	DE-25-14GM
2	1.20	MW 11	INT	RD-10-249-98
3	1.09	MW 12	INT	PB-10-574-03
4	1.17	MW 13	INT	E-500-13
5	1.15	MW 14	INT	TGME-464
6	1.11	MW 15	INT	KE-10-14
7	1.07	MW 16	INT	FT-65/75-130/13
8	1.10	MW 17	INT	PTVM-100
...				

Рис. 4. Основні типи котлів та їх оптимальних КНП

Дані з рис. 4 занесено у програмне забезпечення. Зовнішня адаптація розпочинається з вибору типу котла, на якому проводиться контроль концентрації компонентів димових газів котельних установок. Відповідно від цього вибору автоматично визначається оптимальний КНП. Слід зазначити, що “зовнішня” адаптація на відміну від “внутрішньої” є однокроковою.

Загальна задача адаптації втрачає будь-який зміст, якщо невідомі параметри середовища (в нашому випадку параметри природного газу, який подається у топку котла). Класичним вирішенням даної проблеми є введення необхідних сенсорів для контролю якісних показників цього середовища (якість природного газу). Якість природного газу – це відповідність значень його фізико-хімічних показників встановленим нормативними документами. Згідно з міждержавним ГОСТ 5542-87 за фізико-хімічними показниками природні горючі гази повинні відповідати вимогам та нормам, що наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Фізико-хімічні показання природного газу

Найменування показника	Норма	Метод випроб.
Теплота згоряння нижча, МДж/м <sup>3</sup> (ккал/м <sup>3</sup> ), при 20°C 101,325 кПа, не менше	31,8 (7600)	ГОСТ 27193-86 ГОСТ 22667-82
Область значень числа Воббе (вищого), МДж/м <sup>3</sup> (ккал/м <sup>3</sup> )	41,2-54,5 (9850-13000)	ГОСТ 22667-82
Доп. відх. числа Воббе від ном. значення,%, не більше	5	-
Об'ємна частка кисню,%, не більше	0,02	ГОСТ 22387.2-83
Масова концентрація меркаптанової сірки, г / м <sup>3</sup> , не більше	0,036	ГОСТ 22387.2-83 ГОСТ 22387.3-77
Об'ємна частка кисню,%, не більше	1,0	ГОСТ 23781-83
Маса механічних домішок в 1 м <sup>3</sup> , г, не більше	0,001	ГОСТ 22387.4-77
Інтенсивн. запаху газу при об'ємн. частці 1% в повітрі, бал, не менше	3	ГОСТ 22387.5-77

Подавши запит до НАК “НАФТОГАЗ” було отримано відповідь, що показники з табл. 1 контролюються на декількох етапах поступання природного газу безпосередньо до КУ. Визначення якісних показників природного газу, що надходить в Україну, тобто визначення відповідності його фізико-хімічних показників (ФХП) тим, що обумовлені контрактами, здійснюється на газовимірювальних станціях та пунктах вимірювання витрати газу (ГВС та ПВВГ), які розташовані на вході магістральних газопроводів в Україну. ГВС та ПВВГ обладнані сучасними основними і дублюючими автоматизованими комплексами обліку газу з фіскальним енергонезалежним архівом кількості та компонентного складу газу, а також втручань. Визначення ФХП газу, що надходить на територію України, проводиться щодобово в хіміко-аналітичних лабораторіях та за допомогою потокових хроматографів, встановлених на ГВС.

Перевірка якості газу, що надходить з газотранспортної системи до газорозподільних мереж проводиться один раз на тиждень. Результати аналізу ФХП газу оформлюються у вигляді протоколу якості газу, який затверджується керівником лінійно-виробничого управління ДК «Укртрансгаз», один екземпляр якого надається підприємствам, що здійснюють експлуатацію газорозподільних мереж.

За результатами аналізів теплота згоряння нижча (калорійність) природного газу на території України змінюється в межах 8 000-8250 ккал/м<sup>3</sup>, що перевищує значення калорійності газу, встановлені ГОСТ 5542-87 - не нижче 7600 ккал/м<sup>3</sup>. Тому середньоочікувані концентрації і склад димових газів знаходяться в допустимих межах і відповідно задачу адаптації можна вважати виконаною.

Список літературних джерел:

1. Растринин Л.А. Адаптация сложных систем. — Рига: Зинатне, 1981. — 375 с.

О.М. Возняк, М. А. Мамчур

## Опрацювання результатів непрямих вимірювань використання лінійної апроксимації

Ключові слова: алгоритм, апроксимація, похибка, функція перетворення.

Непрямі вимірювання переважно використовують для знаходження функціональних залежностей між декількома фізичними величинами, в найкращому випадку між двома - X та Y.

$$Y(x) = F(x). \quad (1)$$

Такі вимірювання дуже часто використовують для визначення коефіцієнтів функції перетворення різного типу первинних перетворювачів. Сумісно вимірюють декілька значень вхідної величини і відповідні значення вихідної величини, на основі яких, виконавши відповідні обчислення знаходять шукані параметри. [1]

Метою роботи є створення методики оцінки результатів експериментальних досліджень залежності між величинами, що є актуальною науковою задачею кожного точного вимірювання.

Апроксимаційну функцію

$$y(X) \cong F_a [a_0, a_1, \dots, a_{m-1}; X], \quad (2)$$

розглядають як модель функціональної залежності Y(X) і вона є функцією m – невідомих коефіцієнтів  $a_0, a_1, \dots, a_{m-1}$ , які необхідно знайти, опрацьовуючи результат вимірювання.

Результати вимірювання спотворені різного роду похибками, що призводить до проблеми побудови оптимальної за цих умов апроксимаційної залежності. Ця функція характеризується мінімум її відхилень від експериментальних точок:

$$\delta_i \cong F_a [a_0, a_1, \dots, a_{m-1}; x_i] - y_i, \quad (3)$$

де,  $x_i, y_i$  – результати прямих вимірювань.

Найбільш поширеними критеріями побудови функції за експериментальними точками є:

- мінімум суми модулів відхилення;
- мінімум суми квадратів відхилень;
- мінімум максимального за модулем відхилення. [2]

Розглянемо найпростішу лінійну апроксимацію:

$$F_a (x_i = a_0 + a_1 y_i). \quad (4)$$

Для даної апроксимації шукані коефіцієнти знаходяться за наступними виразами:

$$a_0 = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \bar{x} \cdot \bar{xy}}{\bar{x}^2 - (\bar{x})^2}; \quad (5)$$

$$a_1 = \frac{\bar{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{(\bar{x})^2 - \bar{x}^2}; \quad (6)$$

На практиці з похибками вимірювання значень функції (вихідної величини перетворювача), також необхідно враховувати похибки вимірювання значень аргументу (вхідної величини перетворювача), що спричиняє появу не лінійності у рівняннях системи для визначення апроксимаційної прямої. Отже запропоновано підхід до оцінки метрологічних характеристик перетворювачів із застосуванням лінійної апроксимації, який дозволяє дати оцінку у всьому діапазоні перетворень.

### Список літературних джерел

1. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно – измерительной техники. – К: Вища школа, 1984. – 455с.
2. Дорожовець М. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: у 2т. Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2005. – т.1. Основи метрології. – 532с.

**Л.М. Заміховський, д.т.н., проф.; І.Т. Левицький, асистент**  
**АКТУАЛЬНІСТЬ СТАНДАРТИЗАЦІЇ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ**  
**МЕТАЛОВКЛЮЧЕНЬ**

Ключові слова: контроль, металовключення, давач, скануючий сигнал, функціональна схема, мікропроцесорний пристрій, підсилювач, давач швидкості

Більшість технологічних процесів для виготовлення продукції використовують ту чи іншу сировину, і саме якість і чистота даної сировини неминуче впливає як на якість вихідної продукції, так і на стан технологічного обладнання яке бере участь у виробництві. Значну частку домішок, що призводять до погіршення якості сипучої сировини, складають металовключення, а тому системи контролю металовключень стають все частіше компонентами конвеєрної лінії, що здійснює переміщення сировини.

Функціональне призначення систем контролю металовключень в загальному випадку досить широке: від контролю включень масою близько одного грама до виявлення предметів з феромагнітних металів, що значно перевищують об'єкт контролю по масі. Окрім цього до них висуваються ряд необхідних інших вимог [1]:

- надійне виявлення об'єктів контролю;
- забезпечення селективності по відношенню до металевих предметів, розмір яких є допустимим на вміст в сировині;
- забезпечення заводостійкості в умовах роботи на промисловому об'єкті;
- забезпечення спеціальної безпеки.

В даний момент в Україні не існує державного стандарту, що регламентує значну частину з розглянутих вище вимог. В результаті страждають споживачі систем контролю металовключень. Придбавши виріб, в документації на який даються лише якісні оцінки його основних характеристик (надійно виявляє металеві предмети, не реагує на дуже дрібні металеві предмети, стійкий до дії перешкод і так далі), споживач, виявивши, що система не влаштовує його по фактичних параметрах, не може пред'явити претензії до виробника або продавця. Часто складається і така ситуація, що у придбаній універсальній системі передбачені різноманітні програми роботи. Проте в експлуатаційних документах не вказуються характеристики, що забезпечуються виробом при використанні даних програм.

З розглянутого вище виходить, що назріла необхідність розробки ряду вимог, які б згодом, у випадку їх адекватності, могли лягти в основу стандарту на системи контролю металовключень. Розглянемо докладніше кожен із запропонованих вимог до таких систем.

Об'єкти контролю мають різні розміри, масу, форму, електропровідність, магнітну проникність. У системі контролю сигнал на виході приймального пристрою залежить як від цих характеристик, так і від розташування об'єкту контролю відносно антенного пристрою. Відповідно і характеристики виявлення у системі контролю повинні оцінюватися з урахуванням перерахованих вище чинників. Тому постає задача розробити ряд тестових зразків, що мають узагальнені для об'єктів контролю конструктивні параметри. Використання таких тестових зразків або реальних об'єктів контролю дозволить оцінювати вірогідність виявлення їх системами контролю при різній просторовій орієнтації об'єктів контролю.

Під селективними характеристиками стосовно систем контролю розглядають вірогідність пропуску предметів менших розмірів і маси, ніж об'єкт контролю, до наявності в контролюємій сировині або вірогідність помилкової тривоги.

Вказані характеристики безпосередньо пов'язані з вірогідністю виявлення об'єктів контролю. Електромагнітне поле по ширині дії системи контролю істотно неоднорідне. Навіть застосування спеціальної конфігурації котушок і спеціальної обробки сигналів з приймальної антени повністю не покращить цю неоднорідність. Тому при потраплянні одного і того ж предмету під одним і тим же ракурсом в безпосередній близькості від котушок і в середині дії котушок, вказані сигнали можуть значно відрізнятись.

Селективність має і чисте технологічне значення для лінії. З практичних спостережень не має потреби у виявленні металевих включень, розмір яких не становить загрози для наступного по технологічній лінії обладнання, а тому їх виявлення не становить потреби. Окрім цього в



залежності від методів видалення металевих включень із сировини, надмірне виявлення дуже дрібних металевих включень спричиняє перерозхід сировини, електроенергії і зокрема часових і технологічних ресурсів.

Окрім цього на систему контролю металевих включень, встановлену в приміщенні, в цеху, впливає цілий ряд зовнішніх завод, що утрудняють, або роблять неможливим виконання ним своїх функцій. Заводи поділяють на електромагнітні і заводи викликані наявністю поблизу приймальних пристроїв великих мас металу, замкнутих контурів. Джерелами електромагнітних перешкод найчастіше є силові електромережі і їх комутаційне устаткування, працюючі силові електричні пристрої (електричні двигуни, електричні генератори, трансформатори), люмінесцентні лампи, монітори. Наявність електромагнітних перешкод може призвести до помилкових спрацьовувань, які в деяких випадках стають безперервними і практично не дають можливості використовувати систему контролю. Крім того, електромагнітні перешкоди негативно впливають на селективність.

Помилкові спрацьовування також викликають металоконструкції, що знаходяться поблизу системи контролю і замкнуті контури, що переміщаються по своєму функціональному призначенню (конвеєрні елементи, лопатки, валки, ковші і тому подібне) або здійснюють рух унаслідок нежорсткості конструкцій, вібрацій.

Завадостійкість системи контролю визначається її здатністю зберігати свої характеристики в умовах дії розглянутих вище перешкод. Для забезпечення завадостійкості систем контролю застосовують цілий ряд як конструктивних, так і організаційних заходів.

Для контролю інших параметрів сипучої суміші (складу, вологості, маси і ін.) можуть використовуватися інші прилади і системи (рентгенівські установки або ультразвукові прилади, розташовані в безпосередній близькості від системи контролю металевих включень). Перераховані пристрої є джерелами додаткових електромагнітних перешкод, і для зменшення їх впливу повинні передбачатися необхідні заходи.

Системи контролю металевих включень генерують електромагнітне поле, поблизу якого тривалий час може знаходитись оператор, обслуговуючий персонал чи інші працівники технологічної лінії. Тому, окрім виконання звичайних вимог по безпеці електричних пристроїв, вони повинні забезпечувати безпеку по відношенню до організму людини, допустимий рівень впливу на технологічне обладнання і допустимий рівень впливу інші прилади і системи.

Основною характеристикою системи контролю металевих включень може служити ймовірність виявлення об'єктів контролю. Вимоги до величини цієї характеристики можуть бути різними залежно від необхідного ступеня захисту обладнання. Пропонується розділити ці вимоги на чотири групи: знижену (0,95), нормальну (0,97), підвищену (0,98) і високу (0,99) захищеність.

Запропоновані величини обрані, виходячи з необхідності забезпечення достатнього рівня селективності і завадостійкості, а також з урахуванням технічної реалізації цих значень в існуючих системах контролю. Крім того, таке розділення дозволить сертифікувати всю різноманітність вітчизняних і імпортованих виробів і мати певний запас для перспективних систем контролю.

Найважливішим моментом при оцінці ймовірності виявлення є методика вимірювань. Для її створення пропонується:

- обрати номенклатуру об'єктів контролю або їх імітаторів з конкретними конструктивними характеристиками;
- обрати і обґрунтувати точки вимірювань в контрольованій точці системи контролю;
- обрати і обґрунтувати кількість вимірювань, виходячи з необхідної довірчої ймовірності;
- розробити і обґрунтувати алгоритми обробки вимірювань.

Другою важливою характеристикою є селективність. Вона також залежно від значення ймовірності виявлення надто дрібних предметів (ймовірність помилкової тривоги) може оцінюватися по чотирьох групах: знижена, нормальна, підвищена і висока. Підхід до методик вимірювань ймовірності помилкової тривоги може бути аналогічний розглянутому вище.

Пропоновані для нормування параметри тісно зв'язані з часом знаходження об'єкту контролю в зоні системи контролю. Тому нормуватися повинна і максимальна швидкість руху сировини що контролюється, при якій забезпечуються певні ймовірнісні характеристики. Зазвичай швидкість руху сировини складає 0,5... 1,0 м/с. Проте вона може і досягати 1,5...2 м/с.

Вимоги до завадостійкості систем контролю по відношенню до зовнішніх електромагнітних перешкод формулюються в державному стандарті Росії, проте в нас вони ще не розроблені, що потребує в результаті додаткових досліджень. Вимоги по безпеці

електромагнітного поля системи контролю по відношенню до організму людини визначаються відповідними санітарними нормами [2,3].

При розробці вимог до систем контролю необхідно визначити вимоги по безпеці електромагнітного поля системи контролю по відношенню до супутнього і сусіднього технологічного і електронного обладнання. Методики вимірювань по більшості напрямів безпеці електромагнітного поля, випромінюваного системою контролю, полягають в проведенні вимірів звичайними вимірювальними приладами рівнів напруженості поля в певних частотних діапазонах і порівнянні їх з допустимими нормами.

Як бачимо необхідність стандартизації в області систем контролю металовключень назріла а тому потребує об'єктивного вирішення. В результаті це не тільки урівняє виробників систем контролю металовключень, але надасть споживачеві можливості щодо захисту своїх прав. Окрім цього чітка стандартизація в даній області дозволить проводити більш ширші наукові дослідження із стандартизацією отриманих результатів. Хоча процес розробки даних основ стандартів а згодом і самих стандартів є доволі тривалим, проте його необхідність назріла уже давно.

Список літературних джерел:

1. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка структури і формування вимог до системи пошуку металевих включень у сировині для виготовлення керамічних виробів: Науковий вісник. № 1(17) – Івано-Франківськ: Галицька академія, 2010. – 38-42с. – ISBN 978-966-613-569-1.
2. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 “Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона”,
3. МСанПиН 001-96 “Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях”.

## **СЕКЦІЯ 4 (SECTION 4)**

**Математичне моделювання процесів в засобах  
вимірювання, контролю та діагностики.  
Інформаційно-вимірювальні системи**

**(Mathematical modeling of processes in the measure,  
control and diagnostics. Information-measuring  
systems)**

**В.М. Ванько д.т.н., проф., П.Г. Столярчук, д.т.н., проф.,  
М.М. Микийчук, д.т.н., доц., Т.З. Бубела, д.т.н., доц**

## **РОЗВИТОК КІБЕР-ФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ВИРОЩУВАННЯМ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**

Ключові слова: якість, зернова культура, показник якості, ґрунт, система, вимірювання, сенсор, температура, вологість.

Протягом останніх років Україна належить до лідерів з експортування зернових на світові споживчі ринки. При цьому суттєвим недоліком вітчизняних поставок вважається низька частка зернових, що необхідні для харчових потреб людства. Це пов'язано із недостатнім моніторингом процесу вирощування зернових культур, що пояснюється відсутністю недорогих технічних засобів та методик контролю важливих показників якості (ПЯ) ґрунту та власне технології.

Відповідно до вимог чинних вітчизняних і міжнародних нормативних документів можна виокремити наступні групи ПЯ, які варто контролювати під час вирощування врожаю зернових:

- повітряне середовище (температура і вологість);
- кліматичні зміни у ґрунті (температура і вологість у різних точках посівного поля, освітленість території);
- фізико-хімічний стан ґрунту (водневий показник  $pH$ , параметри гумусу, вміст екологічно небезпечних речовин);
- біологічні показники (наявність небезпечних мікроорганізмів та шкідників).

Оскільки існує потреба у контролі більшості ПЯ з даних груп на багатьох місцях посівного поля, то перспективним виглядає застосування кібер-фізичної системи (КФС) як засобу не лише збирання інформації, але й дослідження і аналізу перебігу вирощування і дозрівання зернових культур [1]. Це досягається завдяки шестирівневій структурі КФС. Причому, найважливішим завданням слід вважати досягнення точності, достовірності і певної форми вимірювальної інформації про досліджуваний процес. Завдяки багатоточковому вимірювальному контролю будуються криві розподілу температури і вологості ґрунту, змін  $pH$ , що дозволяє судити про рівень зволоження землі та стан ґрунтових вод. Дані про фізико-хімічний стан ґрунту забезпечують фермера первинною інформацією, щоб визначити план необхідних заходів стосовно впливу на вирощування врожаю і отримання якісних ПЯ зерна. Дії на культуру можуть бути вибірковими і нерівномірними, наприклад оприскування у певному місці чи підживлення рослин, внесення різних добрив і препаратів на окремих ділянках поля тощо. Можливий також моніторинг ґрунтів поля після збирання врожаю з метою його підготування для використання на наступний рік.

Запропоновано комбіновані вимірювальні перетворювачі у вигляді штирів, котрі містять, відповідно, чотири сенсора температури чи вологості, рівномірно розміщених по довжині 0,8 м штиря, котрий розміщується у досліджуваному місці ґрунту і таким чином одночасно фіксує розподіл даних величин на різних глибинах у землі. Даний штир може працювати у різних режимах: фрагментарно під час вибіркового дослідження або протягом доби на вибраній ділянці з фіксацією у пам'яті показів за цей проміжок часу.

Список літературних джерел:

1. Засади створення кібер-фізичної системи управління органічним виробництвом // П.Г. Столярчук, В.М. Ванько, Т.З. Бубела Збірник праць V Міжнар. наук.-практ. конф. «Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва та переробки сировини, стандарти-зації і безпеки продовольства». Київ. – 2015. С. 39-40.

**О.М. Безвесільна, д.т.н, проф.; А.Г. Ткачук, к.т.н.; Т.В. Хильченко, аспір.  
СИСТЕМА УДАРО- І ВІБРОЗАХИСТУ НАВІГАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ  
ЛЕГКОЇ БРОНЬОВАНОЇ ТЕХНІКИ**

Ключові слова: система ударо- і віброзахисту, система стабілізації, навігаційний комплекс, гіростабілізатор, демпфер сухого тертя

Створення ефективних засобів захисту від вібрацій і ударів є однією з важливих проблем сучасної техніки. Особливо великого значення набувають питання віброзахисту і у сучасних рухомих об'єктах (РО). Оскільки інтенсивність вібрацій і ударів зростає зі збільшенням швидкості руху, подальше удосконалення транспортних засобів вимагає суттєвого підвищення вимог до ударо- та віброзахистних пристроїв-вимірювачів навігаційних комплексів РО. Сьогодні розробками сучасних систем ударо- і віброзахисту (СУВ) для безпосереднього використання у системах стабілізації навігаційного комплексу легкої броньованої техніки (ЛБТ) займаються науковці та інженери кафедри приладобудування НТУУ «КПІ» та ПАТ «НВО «КЗА ім. Г. І. Петровського» (м. Київ) [1-3].

Система ударо- і віброзахисту повинна мати високі метрологічні характеристики: високу точність позиціонування навігаційного комплексу (НК) ЛБТ; обмежену амплітуду коливань системи стабілізації (СС) при заданому рівні максимального прискорення ізолюваного тіла при одиночних ударах високого рівня; обмежену амплітуду коливань при заданому максимальному прискоренні руху ізолюваного тіла при вібраціях; відсутність статичної зони застою поблизу положення рівноваги. Рівень цих вимог постійно зростає, що спонукає до створення досконалішої СУВ нового типу.

Система ударо- і віброзахисту складається із віброзахисного тіла 1, закріпленого на основі 2 на пружних елементах 3. Демпфер сухого тертя виконано у вигляді пружної випуклої пластини 4, обидва кінці якої притиснуті до основи 2 притискачами 5, що забезпечують необхідну силу тертя. Пружна випукла пластина в статичному стані не доторкається віброзахисного тіла, створюючи проміжок  $\Delta$ .

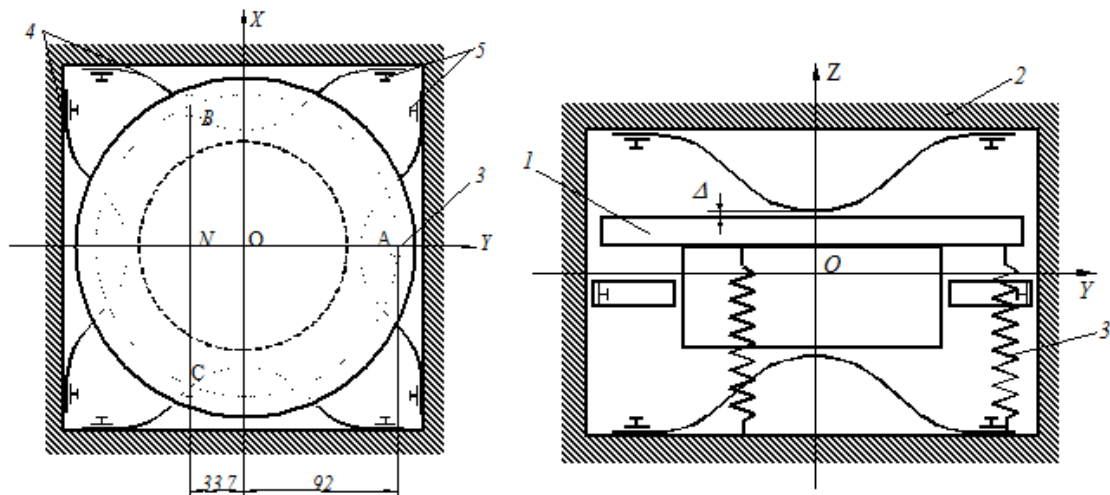


Рис. 1. Принципова схема системи ударо- і віброзахисту СС НС

Устаткування функціонує в такий спосіб: при вібрації основи 2 тіло 1, що віброізолюється, коливається на пружних елементах 3 відносно основи 2 у межах зазорів, чим забезпечується ефект віброзахисту. Зазори підбираються з метою обмеження амплітуди коливань при резонансі. Якщо амплітуда коливань тіла 1 відносно основи 2 перевищує зазор, здійснюється торкання тіла 1 пружної випуклої пластини 4. Якщо тіло 1 рухається в напрямку осі  $OX$ , то після торкання тіло 1 стискає пружну випуклу пластину (пружину) 4. При цьому обидва кінці пружини 4 перемістяться уздовж основи 2. Силу тертя вибирають так, щоб був відсутній рух тіла 1, що віброізолюється, відносно основи 2, тобто щоб віброізолятори при вібрації були «замкнені», завдяки чого

виключається збільшення амплітуди коливань тіла 1 при резонансі. Під час руху тіла 1 у напрямках осей  $OY$  і  $OZ$  робота устаткування аналогічна [3].

Якщо вібрація відсутня, то тіло 1 центрується щодо основи 2 пружними елементами 3 і міститься в межах зазору, тобто відсутнє торкання тіла 1 і пружної випуклої пластини 4, що виключає присутність зони застою в положенні тіла 1. Таке устаткування ефективно при ударах. Якщо сила інерції руху більше сили тертя, то здійснюється зсув тіла 1 щодо основи 2. Оскільки прискорення при ударах досягає значень у сотні  $g$ , то максимальні сили інерції при ударі значно перевищують силу тертя, тобто вплив сили сухого тертя на ефективність ударозахисних особливостей устаткування незначна, а відносно переміщення тіла 1 визначається силою пружності пружних елементів 3.

Якщо порівнювати розроблену СУВ з вже існуючими, наприклад з фрикційними амортизаторами, то видно, що фрикційні амортизатори мають основний недолік – наявність статичної зони застою. Цей недолік не дає можливість застосовувати фрикційні амортизатори у точних системах. Це пояснюється тим, що постійно присутня сила тертя, яка веде до того, що тіло не може повернутися в положення рівноваги  $O$ , бо положення рівноваги настає в момент, коли сила пружності пружин дорівнює силі тертя ( $F_{пруж} = F_{тр}$ ), а ця рівновага настає раніше ( $O_1$  або  $O_2$ ). Наступні недоліки – фрикційні амортизатори не обмежують коливання тіла при резонансі, і віброізоляція погіршується, коли амплітуда збудження зменшується при збільшенні частоти, тобто амортизатор «закривається». У розробленій системі ударо- і віброзахисту ці недоліки відсутні.

З аналізу умов експлуатації СС НК на РО випливає, що найбільш раціональним є реалізація амортизаторів на основі металевих пружин із демпферами сухого тертя. Їх головна перевага в порівнянні з амортизаторами на гумових елементах, і з пружно демпфуючими, полягає в можливості експлуатації при розкиді температури навколишнього середовища у великому діапазоні.

Виконаємо статичний розрахунок системи ударозахисту, що складається з трьох амортизаторів, закріплених симетрично щодо осі  $OY$ . Позначивши вагу НС через  $P$ , одержимо наступні значення навантажень  $P_{AZ}$ ,  $P_{BZ}$ ,  $P_{CZ}$ , що діють на амортизатори, які встановлені в точках А, В, С, відповідно, до яких діють по осі  $OZ$  (див. рис. 1):

$$P_{AZ} = \frac{ON}{ON + OA} P = \frac{52}{52 + 108} P = \rho_1 P,$$

$$P_{BZ} = P_{CZ} = \frac{OA}{2(ON + OA)} P = \frac{108}{2(52 + 108)} P = \rho_2 P, \quad (1)$$

$$\text{де } \rho_1 = \frac{ON}{ON + OA} = 0,325; \quad \rho_2 = \frac{OA}{2(ON + OA)} = 0,338,$$

де  $ON$ ,  $OA$  – відстані до центру мас (див. рис. 1).

З метою уникнення кутових перекосів переміщення амортизаторів уздовж осі  $OZ$  мають бути однакові:  $d_{AZ} = d_{BZ} = d_{CZ} = d$ . У цьому випадку жорсткості амортизаторів:

$$C_{AZ} = \frac{P_{AZ}}{\delta_Z} = \rho_1 \frac{P}{\delta_Z}; \quad C_{BZ} = C_{CZ} = \frac{P_{CZ}}{\delta_Z} = \rho_2 \frac{P}{\delta_Z} = \lambda C_{AZ},$$

де  $\lambda = \frac{\rho_2}{\rho_1} = 1,366$ ;  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  – коефіцієнти.

Сумарна жорсткість амортизаторів

$$C_{OZ} = C_{AZ} + C_{BZ} + C_{CZ} = (1 + 2\lambda) C_{AZ}. \quad (2)$$

У свою чергу, сумарну жорсткість  $C$  можна визначити зі співвідношення

$$C_{OZ} = (n_{1Z})^2 m, \quad (3)$$

де  $m = P/g$  – маса НС;  $n_{1Z}$  – частота власних коливань системи ударозахисту.

Одною з основних вимог є малий перекоп удароізолюючого тіла щодо об'єкта (не більш 20").

Для реалізації цієї вимоги демпфери сухого тертя слід встановлювати з зазором так, щоб при відсутності ударів було відсутнє торкання демпферів і встановленого на амортизаторах НС. З конструктивних розумінь зазор приймаємо рівним  $\Delta = 0,15$  мм [4-5].

Оскільки частота власних коливань  $n_{1z}$  системи ударозахисту має бути більшою за 40 Гц, будемо проектувати систему ударозахисту з частотою, рівної приблизно 45 Гц. На даній частоті амплітуда віброприскорення дорівнює  $0,9g$ . Сила тертя має «замикати» тіло, що ізолюється, тому прийемо силу тертя  $F_m = 1,5mg$ .

Розглянемо ефективність запропонованої конструкції як системи ударозахисту. Оскільки період власних коливань системи  $T = 1/n_{1z} = 22,2$  мс значно більший за тривалість удару  $t = 0,17$  мс, то удар можна розглядати як короткий. При цьому дія удару зводиться до надання тілу початкової швидкості

$$V_o = \int_0^{\tau} W(t) dt, \quad (4)$$

де  $W(t)$  – прискорення руху НС.

Для напівсинусоїдального удару з амплітудою  $W_m = 350g$  знаходимо  $V_o = \frac{2}{\pi} W_m \tau = 1311$  мм/с.

Розрахункову модель показано на рис. 3. Тут  $C_{oz}$  – жорсткість амортизаторів;  $C_n$  – жорсткість демпфера (плоскої пружини);  $F_t$  – сила тертя.

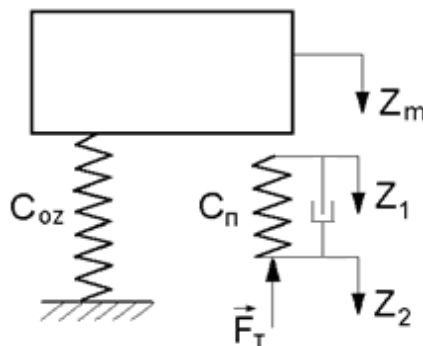


Рис. 3. Розрахункова модель СУВ

Отже, запропоновано нову принципову схему системи ударо- і віброзахисту, яка відрізняється від відомих тим, що дає змогу зменшити амплітуду діючих ударних прискорень у 9 разів, містить демпфер сухого тертя і тим самим гарантує експлуатаційну безпеку гіростабілізатора НК зі збереженням заданої точності.

Список літературних джерел:

1. Безвесільна О.М. Системи наведення та стабілізації озброєння [Текст]: монографія / О.М. Безвесільна, В.Г. Цірук, В.П. Квасніков, В.В. Чіковані. – Київ: НАУ, 2014. – 176 с.
2. Безвесільна О.М. Коріолісовий вібраційний гіроскоп, як чутливий елемент комплексу управління системи стабілізації [Текст] / О.М. Безвесільна, В.Г. Цірук, А.Г. Ткачук // Міжнародний науковий журнал «Технологічні комплекси». – 2014.–№ 2(10).– С. 142-147.
3. Безвесільна О.М. Дослідження системи стеження коріолісового гіроскопа за резонансною частотою [Текст] / О.М. Безвесільна, В.Г. Цірук, А.Г. Ткачук та ін. // Науковий журнал «Технологічний аудит та резерви виробництва». – 2015. – № 3/2(23). – С. 4-7.
4. Безвесільна О.М. Система ударо- і віброзахисту системи стабілізації навігаційного комплексу легкої броньованої техніки [Текст] / О.М. Безвесільна, В.Г. Цірук // Міжнародний науковий журнал «Технологічні комплекси». – 2014.–№ 2(10).– С.134-141.
5. Безвесільна О.М. Попередня прецезійна виставка навігаційних чутливих елементів приладового комплексу стабілізатора озброєння легкої броньованої техніки [Текст]: монографія / О.М. Безвесільна, В.Г. Цірук, С.П. Маляров – Житомир: ЖДТУ, 2015. – 335 с.

Н.Н. Сулима, к.т.н; Н.В. Зарицкая

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ В ДОСТУПНЫХ СИСТЕМАХ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Ключевые слова: эксперимент, объектно-ориентирование проектирование, формирование сигналов, точность.

Экспериментальные научные и прикладные исследования в области радиотехники требуют существенных материально-технических затрат, в связи с чем во многих случаях исследователи ограничиваются имитационным моделированием с помощью компьютерных систем автоматического проектирования (САПР). Выполнение же натурального эксперимента, кроме всего прочего, часто требует существенных знаний всего цикла проектирования конечных аппаратных устройств, наличие большого парка контрольно-измерительного оборудования. Кроме того, исследователь затрачивает значительные временно-трудовые ресурсы на освоение всей материально-технической базы необходимой для эксперимента, что может негативно сказаться на результатах исследования и глубине непосредственных научных изысканий. В качестве одного из способов минимизации затрат на натуральный эксперимент предлагается использование так называемых автоматизированных систем научных исследований, к которым, в той или иной степени, можно отнести аппаратно-программные комплексы типа САПР Matlab, Labview и т.д. Однако, в силу высокой стоимости подобных комплексов, следует осуществить поиск, возможно, менее функциональных, но и значительно менее затратных альтернативных вариантов, в качестве которых достаточной эффективностью обладают системы объектно-ориентированного проектирования (ООП). В данном исследовании проводится экспериментальный анализ возможностей бюджетной ООП Simulink+Waijung на предмет формирования сигналов в режиме реального времени. Первоначальная программная модель Simulink, построенная с помощью компонентов Waijung, транслировалась в аппаратный модуль STM32F4Discovery с ARM – процессором STM32F407VG, тактовая частота которого составляет 168 МГц.

Установлено, что максимально достижимая частота дискретизации корректно генерируемого гармонического сигнала в случае использования Simulink-компонентов типа Sine Wave составляет 50 кГц, при 2-5 отсчётах сигнала на период, в зависимости от конкретной реализации компонента Sine Wave. Такие стандартные Simulink-компоненты обладают низкой эффективностью, что обусловлено неоптимальными алгоритмами их функционирования. На рис. 1 даны осциллограммы гармонических сигналов разных частот, формируемых аппаратным модулем STM32F4Discovery на основании программной Simulink-модели с использованием компонентов типа Sine Wave.



Рис.1

Эффективно генерировать более высокочастотные сигналы позволяют общеизвестные табличные алгоритмы, для реализации которых при создании программной модели следует в качестве Simulink-компонента формирования сигналов использовать Waijung-компонент Arbitrary Waveform Generator. Установлено, что такой способ обеспечивает формирование сигналов с максимальной частотой дискретизации 1.6 МГц, позволяя получить до 5 отсчётов на период в случае частоты формируемого гармонического сигнала, достигающей 160 кГц.



В.Т.Дмитрів, к.т.н., доцент

## ДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУХУ МОЛОКА В МОЛОЧНОМУ ШЛАНГУ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА

Ключові слова: динамічна швидкість, інтенсивність молоковіддачі, доїльний апарат, молочний шланг, вакуумметричний тиск, пульсатор, пограничний шар, постійна Кармана.

Метою моделювання було виявлення характеру розподілу швидкостей в процесі доїння по довжині молочного шланга, в площині поперечного перерізу на заданій відстані від початку молочного шланга, а також динаміку зміни швидкості на протязі одного циклу роботи пульсатора доїльного апарата для моделювання систем і технічних засобів вимірювання інтенсивності молоковіддачі.

Моделювання процесу руху молочно-повітряної суміші проводилось в середовищі "Pascal". Динаміка процесу транспортування суміші залежить від динаміки зміни вакуумметричного тиску на протязі одного циклу роботи пульсатора доїльного апарата.

Усереднене значення по радіусу поперечного перерізу молочного шланга динамічної швидкості  $U_D(t_j)$  в  $t_j$  момент часу циклу роботи пульсатора доїльного апарата визначали за формулою

$$U_D(t_j) = \sum_{i=1}^{i-n} \frac{U_T(r_i F(t_j))}{n}, \quad (1)$$

де  $U_T(r_i F(t_j))$  - значення швидкості в  $i$ -й точці радіуса поперечного перерізу при значенні перепаду вакууму на  $j$ -й момент часу циклу роботи пульсатора [1];  $F(t_j)$  - динамічна функція зміни перепаду вакуумметричного тиску на протязі одного циклу роботи пульсатора доїльного апарата у відносних одиницях [2];  $t_j$  - момент часу циклу роботи пульсатора в інтервалі часу від 0,0 до 1 с.

Швидкість потоку молока в  $i$ -й точці радіуса поперечного перерізу при значенні перепаду вакууму на  $j$ -й момент часу циклу роботи пульсатора розраховуємо за формулою [1]

$$U_T = \frac{\mu(r_0 - r_1)^{-1}}{2\rho_r k_n^2} + \frac{(r_0 - r_1)^{-1}}{k_n} \cdot \sqrt{\frac{\Delta PF(t) \pi_0^3}{Q_m \rho_r}} \cdot \sqrt{\frac{\mu^2 Q_m}{4\rho_r k_n^2 \Delta PF(t) r_0^3} + (r_0 - r_1)^2} \pm \frac{1}{k_n} \sqrt{\frac{\Delta PF(t) \pi_0^3}{Q_m \rho_r}} \cdot \ln \left| r_0 - r_1 + \sqrt{\frac{\mu^2 Q_m}{4\rho_r k_n^2 \Delta PF(t) r_0^3} + (r_0 - r_1)^2} \right| +, \quad (2)$$

$$+ \alpha \cdot \sqrt{\frac{\Delta PF(t) \pi_0^3}{Q_m \rho_r}} \mp \frac{1}{k_n} \cdot \sqrt{\frac{\Delta PF(t) \pi_0^3}{Q_m \rho_r}} \cdot \ln \sqrt{\frac{\mu^2 Q_m}{4\rho_r k_n^2 \Delta PF(t) r_0^3}}$$

де  $\Delta P$  - перепад вакуумметричного тиску, кПа;  $r_0$  - радіус молочного шланга, м;  $r_1$  - радіус від центра до точки визначення швидкості, м;  $\rho$  - густина суміші, кг/м<sup>3</sup>;  $l_{np}$  - довжина дії молочної пробки, м;  $Q_m$  - інтенсивність молоковіддачі, м<sup>3</sup>/с [3];  $k_n$  - постійна Кармана;  $\alpha$  - постійна Ландау;  $\mu$  - динамічна в'язкість молока, Па·с.

На рис. 2 наведені графіки результатів моделювання розподілу усередненої по радіусу поперечного перерізу динамічної швидкості при інтенсивності молоковіддачі 0,5 і 4,0 л/хв, як одного з варіантів.

В початковий момент часу ( $t_j = 0-0,54$  с) при такті сання транспортування суміші практично відсутнє. В такті стиску настає процес транспортування. Швидкість збільшується до максимального значення при  $t = 0,7$  с, а потім проходить зниження швидкості.

Моделювання розподілу усередненої швидкості  $U_T$  по довжині молочного шланга проводилось за рівнянням

$$U_T = \frac{\sum_{i=1}^{i-n} \left( \sum_{j=1}^{j-k} \frac{U_T(r_i F(t_j))}{k} \right)}{n}, \quad (3)$$

де  $U_T$  - усереднена швидкість в часі циклу роботи пульсатора і поперечному січенні молочного шланга.

Моделювання розподілу швидкості по довжині молочного шланга проводилось за алгоритмом, що описується рівнянням (2), наступним чином. Час одного циклу роботи пульсатора розбивався на інтервали від 1 до  $k$ . Радіус молочного шланга розбивався на  $n$  точок. За рівнянням (2) визначали усереднене значення швидкості за цикл роботи пульсатора в кожній точці радіуса при заданій довжині молочного шланга та значенні інтенсивності молоковіддачі. Потім визначали, на основі одержаних даних усередненої швидкості за цикл, усереднене значення швидкості в

площині поперечного перерізу на заданій відстані від початку молочного шланга і інтенсивності молоковіддачі. Моделювання усередненої швидкості по циклу роботи пульсатора і радіусу молочного шланга, як одного з варіантів, проводили на ділянці від 0.8 до 1.5 м від початку шланга і інтенсивності молоковіддачі від 0.5 до 4.0 л/хв. Результати моделювання приведені на рис. 2.

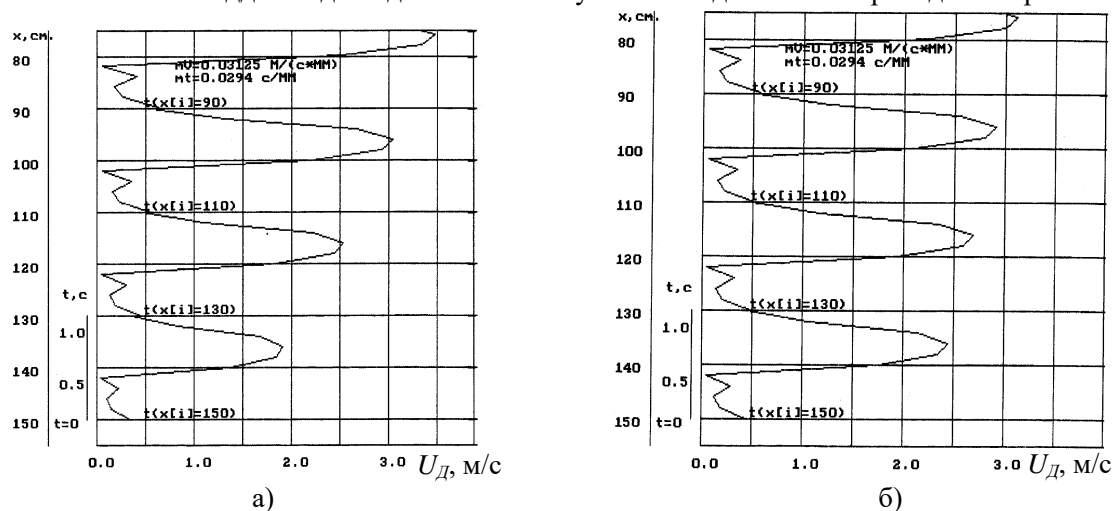


Рисунок 1 - Графік розподілу усередненої по радіусу поперечного перерізу динамічної швидкості  $U_d$  при інтенсивності молоковіддачі 0,5 л/хв (а) і 4,0 л/хв (б) по довжині молочного шланга  $X$

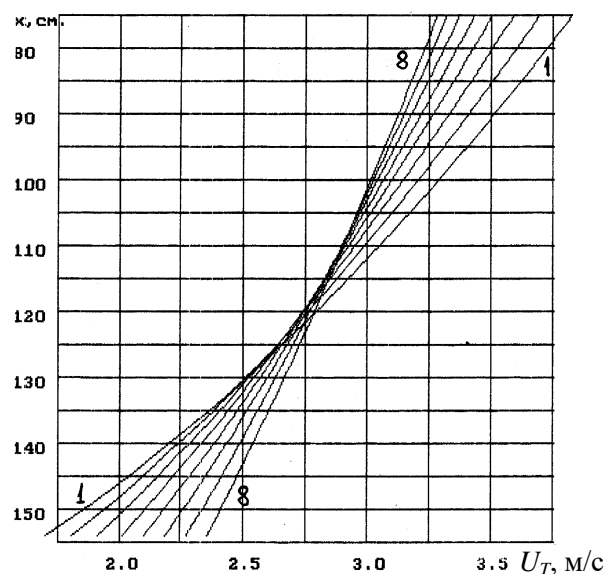


Рисунок 2 – Графік залежності усередненої швидкості  $U_T$  по довжині молочного шланга від відстані  $X$  від початку молочного шланга при інтенсивності молоковіддачі, л/хв.: 1 - 0,5; 2 - 1,0; 3 - 1,5; 4 - 2,0; 5 - 2,5; 6 - 3,0; 7 - 3,5; 8 - 4,0

Аналіз показує, що із збільшенням молоковіддачі швидкості зменшується. При  $Q_m \approx 0,5$  л/хв на відстані 0,8 м від початку молочного шланга швидкість становить  $U_T \approx 3,75$  м/с, при  $Q_m \approx 4,0$  л/хв -  $U_T \approx 3,25$  м/с. На відстані 1.5 м від початку - швидкість з збільшенням молоковіддачі зростає. При молоковіддачі  $Q_m \approx 0,5$  л/хв. швидкість становить в середньому  $U_T \approx 1,85$  м/с, при  $Q_m \approx 4,0$  л/хв -  $U_T \approx 2,4$  м/с. На ділянці від 1,17 м до 1,24 м від початку шланга розхил швидкостей незначний і становить в середньому 2%. При деяких значеннях інтенсивності молоковіддачі швидкість залишається постійною, а міняється довжина пробки. Так на відстані 1,0 м від початку молочного шланга при інтенсивності молоковіддачі від 4,0 л/хв. до 5,5 л/хв усереднена швидкість є постійною і становить  $U_T \approx 3,01$  м/с. Аналогічно на інтервалі ділянки 1.1м, при  $Q_m \approx 2,5-4,0$  л/хв. -  $U_T \approx 2,9$  м/с. Тобто в проміжку 1,0-1,2 м від початку шланга існує ряд інтервалів інтенсивності молоковіддачі при яких усереднена швидкість руху суміші в молочному шлангу є постійною на протязі усього часу роботи доїльного апарата.

При цьому проявляється тенденція зниження максимальної швидкості при збільшенні молоковіддачі на довжині молочного шланга до 1,1 м і послідує наростання максимальної швидкості руху суміші при збільшенні молоковіддачі на довжині шланга від 1,1 м до 1,5 м.

Важливим параметром є максимальну швидкість руху суміші (швидкість на лінії току - при  $r=0$ ) і мінімальну швидкість поблизу стінки шланга (на границі розділу пограничного шару).

Максимальну швидкість визначаємо за рівнянням

$$U_{\max} = \sum_{j=1}^{j-n} \frac{U_{T(r=0)}(F(t_j))}{n}, \quad (3)$$

де  $U_{\max}$  - максимальна, усереднена в часі циклу роботи пульсатора, швидкість руху молочно-повітряної суміші.

Мінімальну, усереднену в часі циклу роботи пульсатора, швидкість руху молочно-повітряної суміші визначаємо за рівнянням

$$U_{\min} = \sum_{j=1}^{j-n} \frac{U_{T(r=r_0-\delta)}(F(t_j))}{n}, \quad (4)$$

де  $r = r_0 - \delta$  - відстань від центру шланга до границі розділу пограничного шару;  $\delta$  - товщина пограничного шару.

Для термодинамічної моделі термоанемометричного первинного перетворювача необхідно знати розподіл швидкостей по радіусу молочного шланга. Моделювання розподілу швидкостей по радіусу молочного шланга проводимо за рівнянням

$$U(r_i) = \sum_{j=1}^{j-n} \frac{U_T(r_i F(t_j))}{n}, \quad (4)$$

де  $U(r_i)$  - усереднена динамічна швидкість на відстані  $r_i$  від центру молочного шланга.

Максимальна швидкість (швидкість по центрі потоку) не значно відрізняється від середньої швидкості. Профіль швидкостей при малих молоковіддачах є менш заповненим і швидкість в центрі потоку відрізняється від швидкості біля пограничного шару на 0,5 м/с (при  $Q_m \approx 0,2-1,0$  л/хв і  $X[i] = 0,8-1,0$  м). При значних молоковіддачах ( $Q_m \approx 2,0$  л/хв і вище) і на відстані від початку шланга  $X[i] = 1,1$  м і більше профіль швидкостей є більш випрямленим, різниця між максимальною і мінімальною (біля пограничного шару) швидкостями відрізняється в середньому на 0,25 м/с.

Список літературних джерел:

1. Дмитрів В. До питання теорії руху молоко-повітряної суміші в доїльному апараті / В. Дмитрів // Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. - 2007. - № 11. - С. 124-130.
2. Дмитрів В.Т. Модель перепаду вакуумметричного тиску в молочному шланзі доїльного апарата / В.Т.Дмитрів // Збірник наукових праць ЛДСГІ "Механізовані процеси сільськогосподарського виробництва". - Львів, 1996. - С. 93-100.
3. Дмитрів В. Дослідження інтенсивності молоковіддачі при різних режимах роботи доїльних апаратів / В. Дмитрів, Р. Ткачишин // Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. - 2006. - № 10. - С. 226-230.

О.С.Баранова, аспірант

## ЦИФРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛИТ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРІАЛУ

Ключові слова: композитний матеріал, частотні характеристики, вільні коливання, резонансні частоти.

При вимірі ударним методом, який використовується в роботі, для опису фізичних явищ, що відбуваються в пластині композитного матеріалу, можна застосувати відомий математичний апарат [1]. Короткий ударний імпульс еквівалентний суперпозиції нескінченного числа гармонійних коливань, що утворюють спектр Фур'є. Відгук коливальної системи на такий імпульс можна обчислити, розглянувши порушення системи гармонійними складовими імпульсу, якби воно відбувалося деякою періодичною силою. Тоді коливання всієї системи визначається шляхом підсумовування всіх фур'є-компонентів імпульсу. Спектральна щільність короткого прямокутного імпульсу з амплітудою  $F_0$  і тривалістю  $t_i$ , включеного в момент часу  $t = 0$ , дається виразом

$$S(\omega) = \int_0^{t_i} F_0 e^{-j\omega t} dt = F_0 t_i = I ; \quad (1)$$

де  $I = F_0 t_i$  – імпульс сили;  
 $\omega = 2\pi f$  – кутова частота.

Спектральна щільність короткого імпульсу дорівнює площі, обмеженої кривою залежності імпульсної сили від часу. Якщо такий імпульс діє на систему із зосередженими масою й пружністю, то кожна з його спектральних складових буде так збуджувати систему, ніби на її вході діяла зовнішня синусоїдальна сила. Сумарне коливання системи можна знайти, підсумовуючи рішення для різних спектральних складових. Таким чином, порушення системи, наприклад, ділянки плити композитного матеріалу, коротким імпульсом еквівалентне порушенню її безперервним спектром. Оскільки відгук системи, ділянки плити, має резонансний характер, пройнуть лише ті спектральні складові, частоти яких перебувають поблизу резонансної частоти системи, інша ж частина спектра буде подавлена. Минулі спектральні складові збуджують коливання, які експоненціально загасають згодом. При  $t=0$  всі спектральні складові перебувають у фазі й у сумі утворюють максимум. Однак із часом фази коливань різних частот поступово розходяться і коливання стають повністю некорельованими й гасять один одного. Таким чином, амплітуда коливань змінюється від максимального значення до нуля [2].

Наведений опис короткого ударного імпульсу стосується системи із зосередженими масою й пружністю. У такій системі маси вважаються твердими тілами, а пружні елементи вважаються безмасовими і всіма точками рухаються у фазі. На практиці всі маси мають деяку пружність, а всі пружні елементи мають масу. При ударі ударника по плиті, в ній виникають коливання із частотами резонансу окремих складових плити. Виділяючи ці коливання за допомогою фільтрів і підраховуючи кількість спектральних складових у сигналу з п'єзоелементу за час удару можна одержувати інформацію про якість ділянки плити, яка піддавалась впливу ударного імпульсу.

З осцилограмм можна зробити висновок, що коливальний характер плити з дефектом (розшаруванням) і плити без дефекту відрізняються тривалістю коливання й формою коливального процесу. Вимірюючи кількість загасаючих амплітуд коливання, величину амплітуд, частотний спектр сигналу та інші характеристики сигналів від ударного імпульсу можна судити про якісні характеристики плити.

Для визначення частотних характеристик електричної схеми пристрою для контролю дефектів в пластині композитного матеріалу необхідно мати інформацію про частоту її коливань. Частотний діапазон вільних коливань плит різної товщини та розміру було одержано шляхом цифрового моделювання частоти вільних коливань прямокутних пластин. Частоту коливань окремих ділянок плити обчислювали як частоту вільних коливань плити опертої по краях (2):

$$\rho_{11} = \pi^2 \cdot \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{Dg}{Yh}} = \pi^2 \cdot \left( \frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{gEh^2}{12Y(1-\nu^2)}} , \text{ Гц} \quad (2)$$

Результати цифрового моделювання частотних характеристик пластин композитного матеріалу показано на рис.1. Площа пластини була обрана з міркувань, що дефект (розшарування) має розмір  $S = a \cdot b = 0,1 \cdot 0,1 = 0,01 \text{ м}^2$ , де  $a$  - довжина пластини,  $b$  - ширина пластини.

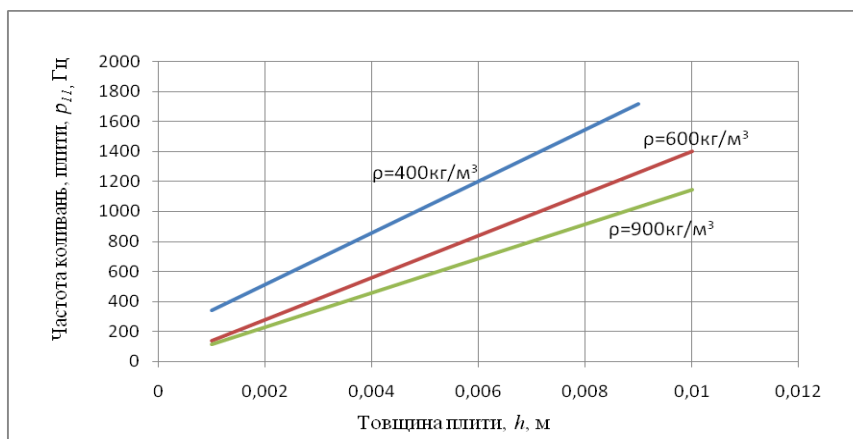


Рис.1. Залежність частоти вільних коливань плити від її товщини та щільності

Якщо композитний матеріал має форму пластини з постійним розміром і щільністю і не має дефектів, то в спектрі коливань пластини переважає одна частота - частота власних коливань.

На рис.2. показано результати моделювання залежності частот вільних коливань ділянок плити, від їх площі та товщини. Площу ділянки в даному випадку можна представити як площу розшарування композитного матеріалу. Така ділянка при ударі ударника буде коливатися зі своєю основною частотою, відмінною від частоти цільної плити. Накладення коливань різних частот створить складну форму вихідного сигналу.

Наприклад, у спектрі сигналу коливань пластини композиційного матеріалу з дефектом можна виділити 5 резонансних частот: 250Гц, 300Гц, 388Гц, 680Гц й 1600Гц. У той же час, спектр сигналу із цієї ж пластини, але з бездефектної ділянки, має одну резонансну частоту  $f_p=388\text{Гц}$ .

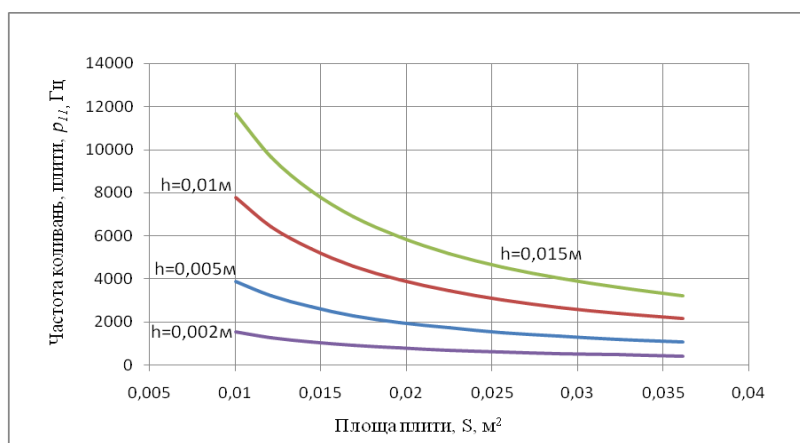


Рис.2. Залежність частоти вільних коливань ділянок плити від їх площі та товщини (щільність плити,  $\rho = 600\text{кг/м}^3$ )

Таким чином, для визначення дефектної ділянки, необхідно вимірювати частотний спектр сигналу в діапазоні від 100Гц до 5 – 8 кГц.

Виділення резонансних частот зі спектра сигналу з п'єзоелементу можна здійснити різними методами. Застосувати смугові електричні фільтри на RC, LC елементах, або на кварцах. Можна розробити пристрій на базі мікропроцесора, записавши в нього програму цифрових фільтрів. Для лабораторних досліджень можливе застосування спектроаналізатора.

Список літературних джерел:

1. Е. Скучик., Основы акустики. М.: Мир. 1976, 520с.
2. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара, Ленинград, «Машиностроение», 1976, 320 с.

**А.Я. Кулик, д.т.н., проф.; С.Г. Кривогубченко, к.т.н., доц.;**  
**Ю.Ю. Иванов, асп.; І.Ю. Иванов, лік. вищ. кат.**

### **АЛГОРИТМ ТУРБО-ДЕКОДУВАННЯ PL-log-MAP ДЛЯ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ У СКЛАДІ ТЕЛЕМЕДИЧНОГО КОМПЛЕКСУ**

Ключові слова: завадостійке кодування, турбо-код, система цифрового передавання інформації, медичний телеметричний комплекс, MAP, log-MAP, кусочно-лінійна апроксимація.

Вперше основи теорії кодування інформації були представлені в роботах американського інженера К.Е. Шеннона в 1948 р. Він запропонував використовувати компресію даних з джерела, шифрувати дані, а потім застосовувати завадостійке кодування (ЗК), подальший розвиток якого пов'язаний з роботами А. Колмогорова, В. Котельникова, Р. Хемінга, П. Елайеса, Р. Галлагера, І. Ріда, Г. Соломона, К. Берру, Д. Маккея та інших вчених, які розв'язали різні проблеми в області передавання інформації, розробивши технології, що дозволяють на практиці досягти рекордних показників. Таким чином, після того, як була закладена математична основа, завдяки винятково високій ефективності, ЗК знаходить своє місце в багатьох системах зв'язку. Найбільш помітним кроком до ідеального коду в теорії ЗК за останні роки є турбоподібні кодові конструкції. Головний принцип класичного турбо-кодування – використання двох паралельно працюючих елементарних кодерів. При цьому інформаційний блок кодується двічі, причому другий раз – після попереднього випадкового перемішування бітів (інтерлівінг). Декодована інформація з виходу першого (другого) декодера використовується в якості апіорної інформації для входу другого (першого) декодера з метою уточнення результату декодування. Для декодування турбо-коду застосовується алгоритм MAP, його оптимальна (log-MAP), а також субоптимальна (max-log-MAP) модифікації, які знижують обчислювальну складність процесу декодування. Декодери кодів є найбільш складними для апаратної та програмної реалізації, оскільки при проектуванні сучасних інформаційних систем до них висуваються вимоги роботи з максимальною швидкістю передавання інформації.

Враховуючи сучасні тенденції в інформатизації нашого життя, процес розвитку засобів і систем передавання цифрових даних є визначальним фактором еволюції техніки. Ефективна робота системи охорони здоров'я неможлива без впровадження новітніх технологій підготовки, передавання, зберігання та оброблення інформації, що дозволить прискорити аналіз стану здоров'я пацієнтів, встановлення діагнозу, заощадить час, людські ресурси, підвищить якість медичних послуг. У процесі роботи автори модернізували основні вузли цифрової системи передавання даних у складі медичного телеметричного комплексу, застосувавши двовимірну турбо-кодову конструкцію Берру-Глав'є-Цитімаджими з використанням процесів інтерлівінгу та перфорації бітів, причому декодування відбувається на основі модифікованого кусочно-лінійного (PL – piecewise linear) алгоритму log-MAP (PL-log-MAP). Цей метод заснований на використанні кусочно-лінійної апроксимації для нелінійної компенсуючої функції  $f_{кор}(z)$  у виразі логарифму Якобі  $\Omega(x, y) = \ln(e^x + e^y) = \max(x, y) + \ln(1 + e^{-|x-y|}) = \max(x, y) + f_{кор}(|x - y|) = \max(x, y) + f_{кор}(z)$ .

Застосування запропонованої апроксимації дозволяє уникнути обчислення складних функцій  $\ln(\cdot)$  та  $\sum \exp(\cdot)$ , зберегти високу точність розрахунків максимально наближену до оригінального log-MAP алгоритму.

Застосовано 6 лінійних функцій у формі  $f_{i\ кор} = a \cdot z + b$  на піддіапазонах  $z_0 \in [0; 1]$ ,  $z_1 \in (1; 1,5]$ ,

$z_2 \in (1,5; 2]$ ,  $z_3 \in (2; 3]$ ,  $z_4 \in (3; 4]$ ,  $z_5 \in (4; +\infty)$ , де параметри  $a$  та  $b$  знайдено за методом найменших квадратів. Запропонована апроксимація коректуючої функції дуже точна на піддіапазонах (корінь суми квадратів відхилень  $RMSE$  знаходиться в межах від 0,0013 до 0,0108, коефіцієнт кореляції  $R$  між оригінальною  $f_{кор}$  і запропонованою в межах від 0,991 до 0,999). Крім того, даний метод апроксимації для компенсуючого члена функції Якобі більш точно корелює з показниками log-MAP алгоритма, ніж інші ефективні методи, такі як дробовий (на 0,11 %), квадратичний (на 0,2 %), таблиця Робертсона (на 0,54 %), комбінований (0,69 %), лінійний (на 1,36%), багатокроковий (на 2,44%), лінійний+ряд Маклорена (на 6,88%), константний (на 11,78%).

Отже, результати моделювання показали, що даний метод турбо-декодування досягає точності log-MAP алгоритма, перевершуючи існуючі субоптимальні модифікації, а показники BER

для PL-log-MAP алгоритма максимально наближені до оптимального log-MAP. Також необхідно зазначити простоту реалізації апаратними засобами (лінійне множення, компаратори, суматори).

**О.В. Бісикало, д.т.н., проф.; С.С. Траченко, магістр ФКСА; О.В. Яхимович, магістр ФКСА; А.І. Лисовенко, аспірант ФКСА**

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПОБУДОВИ ПАРАДИГМАТИЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ СЛОВОФОРМАМИ НА ОСНОВІ ВИМІРЮВАННЯ ТЕКСТОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

Ключові слова: парадигматичні зв'язки, синоніми, граф, Python, Stanford Parser, NLP, PyStanfordDependencies

Надшвидкий ріст доступних текстових ресурсів мережі інтернет збільшує актуальність алгоритмів для розв'язання задач комп'ютерної лінгвістики, зокрема задачі лінгвістичного аналізу текстової інформації. Переважна кількість відомих підходів до аналізу тексту та відповідних технологічних засобів базуються на основі використання експертних знань лінгвістів та філологів у тій чи іншій формі правил, предикатів, фреймів, сценаріїв, алгоритмічних конструкцій тощо. Проте, якщо на етапах морфологічного та синтаксичного аналізу такий шлях формалізації знань про мову загалом демонструє задовільні для практики результати, то на етапі семантичного аналізу спостерігаються суттєві труднощі не тільки для мов синтаксичного типу, але й для аналітичних.

Привертає увагу зовсім інший підхід до обробки текстової інформації, що моделює природний шлях накопичення дитиною знань про рідну мову в процесі онтогенезу. При цьому жодні правила заздалегідь невідомі, але отримання нової текстової інформації призводить до появи нових парадигматичних зв'язків між розпізнаними вербальними ознаками – словами, словоформами, лексемами. В роботі [1] було запропоновано врахувати онтогенетичний пріоритет предикативної структури речення та синтагматичної будови мови перед парадигматичною, що знайшло підтвердження у інтроспективному аналізі щодо відповідності мовленнєвої діяльності образному механізму психічних процесів. Проте отримані лінгвістичні моделі не отримали експериментального підтвердження шляхом організації процесів вимірювання текстової інформації на основі застосування технологічних засобів сучасних лінгвістичних пакетів.

Мета дослідження полягає у формалізації та експериментальній апробації визначення нових парадигматичних зв'язків між словоформами, зокрема синонімії на основі вимірювання чисельних ознак синтагматичних зв'язків між словоформами в реченнях тексту.

Будемо вважати, що первинний когнітивний простір асоціативних пар синтагматичного походження (у подальшому – пар словоформ) задано у вигляді  $G_z(Y_z, E_z)$  – орієнтованого зваженого графу з двохстороннім рухом. В загальному випадку  $Y_z = \{1, 2, \dots, n\}$ , а  $E_z = \{(i, j)\}$ , де  $n$  – кількість вершин графу,  $i$  – початок ребра,  $j$  – кінець ребра. Граф  $G_z$  задамо у вигляді матриці суміжності  $A = \{a_{ij}\}$ ,  $i, j = 1, \dots, n$ , в якій  $a_{ij}$  – вага ребра  $(i, j)$  – визначається як

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, & (i, j) \notin E_z \\ e^{-\lambda} \sum_{n=0}^{k_{ij}} \frac{\lambda^n}{n!}, & (i, j) \in E_z \end{cases}, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт масштабу – середня кількість повторень в існуючих (ненульових) асоціативних зв'язках;  $k_{ij}$  – кількість повторень однакового синтагматичного зв'язку між  $i$ -ю та  $j$ -ю вершинами графу (словоформами).

Розглянемо формальні методи утворення відомих парадигматичних зв'язків на основі графу  $G_z(Y_z, E_z)$ . До них будемо відносити такі типи вторинних асоціацій:

- $P_c$  – синонімічна асоціація;
- $P_a$  – антонімічна асоціація;
- $P_\partial$  – асоціація типу часткове–загальне;
- $P_\square$  – асоціація типу частина–ціле.

Загальна ідея підходу, що пропонується, полягає у формальному визначенні нового парадигматичного зв'язку на основі аналізу чисельних ознак вже відомих синтагматичних, які отримано засобами лінгвістичного пакету.



У межах запропонованого підходу розглянемо процес знаходження синонімів до словоформи  $y_i \in Y_z$ . Згідно з [1] синонімія, у першу чергу, притаманна якості об'єкту та якості методу. Отже, задача зводиться до визначення двохсторонньої синонімічної асоціації  $P_{c_{ij}}$ ,  $j \neq i$ , в якій словоформи  $i$  та  $j$  одночасно мають представлення у вигляді прикметника (якості об'єкту) або прийменника (якості методу). Мета побудови відповідного алгоритму полягає у знаходженні такої  $j$ -ї вершини графу, яка має множину зв'язків з іменниками або з дієсловами, подібну до множини зв'язків  $i$ -ї вершини графу.

Введемо наступні позначення:

$\bar{j}_x$  – вершина пошуку (синонімічна для  $i$ -ї вершини графу);

$\bar{x}_{\max}$  – кількість спільних словоформ-дієслів для  $i$ -ї та  $j$ -ї вершин графу, перед запуском алгоритму  $\bar{x}_{\max} = 0$ .

Пропонується алгоритм **СупХХ** визначення синонімічної асоціації  $P_{c_{ij}}$  для прийменника або якості методу, що складається з наступних кроків:

**[Крок 1]** Досліджується  $i$ -а вершина. В стовпці  $i$  матриці  $A$  визначається множина  $\{l\}$  таких елементів, для яких  $a_{li} \geq 0$  та кожна  $l$ -та вершина має відображення у базовому словнику як словоформа-дієслово.

**[Крок 2]** Організується цикл для всіх  $j$ -х вершин, таких що  $j \neq i, j \notin \{l\}$ . Для кожної  $j$ -ї ітерації циклу:

а. визначається множина  $\{m\}$  таких елементів, для яких  $a_{mj} \geq 0$  та кожна  $m$ -та вершина має відображення у базовому словнику як словоформа-дієслово;

б. визначається потужність  $\bar{x}$  множини  $X = \{l\} \cap \{m\}$ ;

с. якщо  $\bar{x} > \bar{x}_{\max}$ , то  $\bar{j}_x = j$  та  $\bar{x}_{\max} = \bar{x}$ .

**[Крок 3]** Вершина  $\bar{j}_x$  виводиться в якості синонімічної до вершини  $i$ .

Для апробації отриманої алгоритмічної моделі з метою знаходження синонімічних зв'язків між словами було обрано Stanford Parser [2] – один з найбільш популярних та потужних в світі лінгвістичних пакетів для обробки англомовної текстової інформації. Відповідне програмне забезпечення реалізовано на мові Python, зокрема використано інструмент PyStanfordDependencies для визначення зв'язків між парами словоформ у вхідному тексті. Застосовано також лінгвістичний пакет NLTK на мові Python [3] для парсерингу речень природної (англійської) мови у дерева залежностей, при цьому використано вбудований інтерфейс для роботи зі Stanford Parser.

Технологічно запропонований алгоритм реалізовано таким чином:

- За допомогою NLTK у циклі для кожного речення вхідного англомовного тексту створюємо дерево залежностей.

- Із кожного такого дерева залежностей за допомогою PyStanfordDependencies виокремлюємо зв'язки між парами словоформ та заносимо дані зв'язки в загальний список синтагматичних залежностей. Даний зв'язок містить в собі інформацію про тип зв'язку, а також про частини мови кожної словоформи (головної та підлеглої) цього зв'язку.

- Засобами мови Python з отриманого списку групуємо повторення, збільшуючи вагу кожного зв'язку, що має повторення в загальному списку, який наприкінці сортується пріоритетно за вагами  $k_{ij}$  ребер  $(i, j)$ , а потім – за алфавітом для головної та підлеглої словоформ.

Отже, на виході запропонованого алгоритму маємо частотний словник зв'язків між окремими словоформами, де ключ – зв'язок між словоформами  $(i, j)$ , а значення – кількість його повторень  $k_{ij}$  (з якої згідно з (1) отримуємо  $a_{ij}$ ) в списку загальних зв'язків.

В процесі експерименту за допомогою розробленої програми вимірювалися зв'язки типу `advmod` – прислівниковий зв'язок між словами, однією з частин якого обов'язково є дієслово. Групуючи дані зв'язки за прислівниковою частиною, визначалися синонімічні зв'язки між тими дієсловами, прислівникові частини яких збігаються найбільше.

Для експериментальної апробації підходу було обрано англомовний текст казки "Джек та бобове дерево". Огляд топ-зв'язків отриманого словника з 637 пар дозволив висунути гіпотезу про синонімію дієслів `go` та `same`. Дані про всі зв'язки для `go` та `same` вміщено у табл. 1.

Таблиця 1 – Аналіз ознак та визначення синонімічного зв'язку між дієсловами go та came

Слова зв'язку	Вага зв'язку
go, again	4
came, soon	3
came, when	3
came, again	2
came, before	2
came, fast	2
go, here	2
came, here	1
came, how	1
came, just	1
came, next	1
came, still	1
go, as	1
go, away	1
go, back	1
go, somewhere	1
go, straight	1
go, then	1
go, there	1
going, forward	1
going, just	1
going, now	1
going, where	1

Як видно з даного прикладу, go та came мають наступний ряд однакових прислівникових зв'язків: again, here, just. Вирахувавши питому вагу збігів, маємо 32.35% збігів цієї пари синонімів.

Іншою гіпотетичною парою синонімів аналогічно було виокремлено пару дієслів soon та fast. Частотні показники для всіх зв'язків даної пари дієслів показано в табл. 2.

Таблиця 2 – Аналіз ознак та визначення синонімічного зв'язку між дієсловами soon та fast

Слова зв'язку	Вага зв'язку
soon, as	6
fast, as	4
fast, so	1
fast, very	1

Для даної пари синонімів загальною прислівниковою частиною є слово as. А вирахувавши питому вагу збігів маємо 83.3%. Отже, запропонований підхід дозволяє отримати вагомі чисельні ознаки синонімії навіть для відносно невеликого обсягу експериментального тексту. Подальшого експериментального підтвердження потребує аналогічне знаходження інших типів зв'язків.

Список використаних джерел:

1. Бісікало О.В. Формальні методи образного аналізу та синтезу природно-мовних конструкцій : монографія [Текст] / О. В. Бісікало // Вінниця : ВНТУ, 2013. – 316 с.
2. Stanford parser [Електронний ресурс] // Stanford Dependencies. – Назва з екрану. – Режим доступу: <http://nlp.stanford.edu/software/stanford-dependencies.shtml>
3. Bird S. Natural Language Processing with Python : Analyzing Text with the Natural Language Toolkit // Steven Bird, Ewan Klein, Edward Loper // O'Reilly Media, 2009. – 504 p.

О.І. Гороховський, к.т.н., доц.; К.І. Ошовська, студент

## УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЗУЛЬТАТУ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЮ МЕРЕЖЕЮ МІСТА»

Ключові слова: загальне управління якістю, модель якості системи керування, методи кваліметрії, згорання якості, вагові коефіцієнти.

Тенденції світового розвитку передбачають постійне поліпшення надання послуг та підвищення якості. Для цього необхідним є створення способів визначення рівня якості, методик підвищення останньої та аналіз отриманих результатів. З цією метою ще в 1920 році в галузі промисловості США було введено поняття «загальне управління якістю» з прийнятою аббревіатурою – TQM (Total Quality Management). До цього часу багато вчених формували свою особливу думку з цього питання та розглядали способи управління якістю в різних сферах. Методи ж реалізації цього підходу прийшов від вчення таких лідерів якості, як Філіп Б. Кросбі, Едвардса Демінга, Арманд Фейгенбаум В., Каору Ісікава, і Джозеф М. Джуран, Вальтер Шухарт.

Отже, метою даного дослідження є способи визначення показників якості, які впливають та формують кінцевий результат - оптимальний шлях.

Загальне управління якістю – це підхід до управління організацією, націлена на якість, що ґрунтується на участі всіх її членів (персоналу у всіх підрозділах і на всіх рівнях організаційної структури) і спрямований на досягнення як довгострокового успіху шляхом задоволення вимог користувача, так і вигоди для членів організації і суспільства.[1]

Одним із основних принципів TQM-ідеології є принцип процесного підходу [2]. Загалом процесом можна вважати організовану діяльність, що має вхідні дані, здійснює їх обробку та видає кінцевий результат.

Концепція даного підходу дозволяє регулювати рівень якості на завершальній стадії за рахунок забезпечення якості даних та процесу.

Враховуючи те, що більшість уваги приділяється саме процесу обробки, необхідно здійснювати постійний моніторинг на цій стадії, для запобігання помилок. Вплив на сам процес, а не на результати процесу – базова концепція управління процесами організації, що працює в умовах TQM. Неможна чекати остаточного результату, а потім виправляти помилки, потрібно впливати на сам процес, щоб не допускати їх.[2]

Таким чином, якість в цілому буде залежати від якості кожного елемента структури процесу.

Так, якість системи  $Q_{\text{сист}}$  залежить від трьох складових: якість даних (ресурсів)  $Q_{\text{рес.}}$ ,

якість процесу  $Q_{\text{проц.}}$  і якість результату  $Q_{\text{рез.}}$ , тобто  $Q_{\text{сист}} = \langle Q_{\text{рес.}}; Q_{\text{проц.}}; Q_{\text{рез.}} \rangle$ .

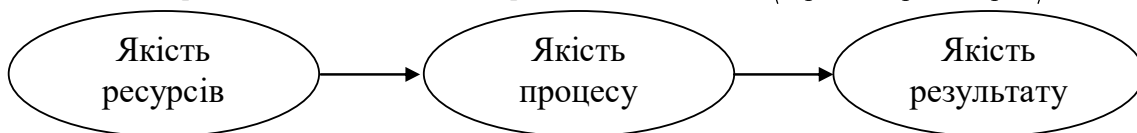


Рис. 1а – Узагальнена модель якості системи керування

Використовуючи такий тип перетворення, що називається згорання якості, для скорочення набору вихідних показників при побудові на їх основі окремого показника, можна аналізувати останній показник на оптимальність.

Наука кваліметрії дозволяє прогнозувати на технічному рівні якість наданих послуг, зокрема транспортного забезпечення населення, дозволяє створити систему показників, які зможуть визначити найвищу якість наданих пасажиру послуг, зокрема

Такий метод називається кваліметрією, в ньому розглядаються операційне і статистичне згорання якості [5].

Операційне згорання якості – це об'єднання показників, побудованих на різнорідних простих чи складних властивостях, яке формує комплексний (груповий) показник якості об'єкта.

Статистичне згорання якості – це об'єднання показників, побудованих на однорідних властивостях чи підмножинах якості. На основі цього поняття формується поняття узагальнених показників якості об'єкта.

$$Q = f(n, q_i, m_i),$$

де  $n$  - кількість показників, що оцінюються;

$q_i$  - відносний  $i$ -й показник якості;

$m_i$  - коефіцієнт вагомості  $i$ -го показника якості ( $\sum_{i=1}^n m_i = 1$ ).

Розглядаючи ситуації, в яких є змога виявити характер взаємозв'язків між досліджуваними показниками, варто визначати функціональну залежність.

Обчислення групових оцінок якості частіше за всі здійснюється у такі способи.

Середньозважена арифметична оцінка:

$$O_{\text{гр}}^a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i O_i,$$

де  $n$  - кількість оцінок ситуацій;

$m_i$  - ваговий коефіцієнт  $i$ -ої оцінки;

$O_i$  -  $i$ -та оцінка.

На практиці таку оцінку використовують, коли  $O_i > 0,5$  для  $i = \overline{1 \div n}$ . [6]

Негативним наслідком такого способу є те, що низька оцінка будь-якого показника може бути компенсована високою оцінкою одного чи кількох інших показників. Однак такий недолік є важливим лише у тих випадках, коли проміжні результати мають значення для прийняття рішення. У системі керування транспортною мережею міста, найважливішим є остаточний результат, тому компенсація за рахунок інших показників не має суттєвого впливу на кінцевий результат.

Список літературних джерел:

1. Шаповал М.Л. Менеджмент якості: Підручник. - К. : Т-во "Знання" ЛПЦЦ, 2003. - 475 с.
2. Глудкин О.П., Горбунов Н.М., Гуров А.И. Всеобщее управление качеством: Учеб. для вузов. - М.:, 1999. - 600 с.
3. Пфанцагль И. Теория измерений / И. Пфанцагль. — М.: Мир, 1976. — 165 с.
4. Клигер С. Л. Шкалирование при сборе и анализе социологической информации / С.Л. Клигер, М. С. Косо-лапов, Ю. Н. Толстова. — М.: Наука, 1978. — 107 с.
5. Субетто А.И. Введение в квалиметрию высшей школы: Учебное пособие. - Ч.1,2. - М., 1990. - 213 с.
6. Корнешук Н.Г., Рубин Г.Ш. Методический подход к проблеме оценки качества образования на основе квалиметрии. // Сборник докладов Всероссийской конференции "Интеграция информационных систем в управлении образованием", г. Псков, 24-26 марта 2005 г. <http://conf2005.pskovedu.ru/files/thesis/313.doc>

**В.Ю. Кучерук, д.т.н., проф.; Д.І. Сікорський, студент**

## **ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН**

Ключові слова: асинхронні машини, електроприводи, електричні машини, механічна характеристика, обертаючий момент, кутова швидкість, частота обертання, інформаційно-вимірювальна система.

Трифазні асинхронні машини загального призначення є найбільш масовою продукцією електромашинобудування. Асинхронні електроприводи складають близько 95% загальної кількості електроприводів, а асинхронні машини споживають більше половини електроенергії, що виробляється у нашій країні. Тому розробка ефективних методів визначення характеристик цих двигунів в процесі виробництва і після їх виготовлення є актуальним завданням.

При різних видах випробовувань електричних машин (ЕМ) виникає необхідність вимірювання характеристик руху (ХР), а саме: обертаючого моменту  $M$ ; механічної характеристики; приведенного моменту інерції ротора електричної машини  $J$ ; моменту механічних втрат  $M_0$ . Перераховані фізичні величини входять в загальне рівняння руху ЕМ, що дає можливість об'єднати їх під загальною назвою ХР ЕМ. Вони повинні визначатись як в статичному, так і в динамічному режимі роботи ЕМ.

Механічна характеристика (МХ) представляє собою залежність між обертаючим моментом і кутовою швидкістю обертання  $M=f(\omega_r)$  або  $\omega_r=f(M)$ , що отримана при незмінних напрузі живлення і частоті мережі [1].

За допомогою МХ ЕМ при відповідних умовах можливо розраховувати статичні параметри ЕМ. Окрім цього, МХ дозволяє оцінити деякі види браку.

В результаті порівняльного аналізу встановлено, що в промислових умовах найбільш ефективним є динамічний метод вимірювання МХ. Властиві йому недоліки обмежують область його використання, але висока інформативність, експресність і технологічність вигідно відрізняють цей метод від інших [2].

Розроблена інформаційно-вимірювальна система включає в себе вимірювальний канал кутової швидкості обертання і реалізує динамічний метод вимірювання МХ. Особливістю даного методу є те, що в ньому з використанням зразкових моментів інерції враховується момент механічних втрат електричної машини, що дозволяє суттєво підвищити точність визначення МХ.

Список літературних джерел:

1. ГОСТ 17154-71. Машины электрические вращающиеся. Характеристики, расчетные параметры и режимы работы. Термины и определения. - М.: Издательство стандартов, 1971.
2. ГОСТ 11828-87. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний. - М.: Издательство стандартов, 1987.

С.В.Голуб, д.т.н., проф.

## МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВИМІРЮВАННЯ В ТЕХНОЛОГІЇ СОЦІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Ключові слова: моніторинг, похибка вимірювання, моделі об'єктів вимірювання, інформаційна система.

Моніторинг — це технологія забезпечення інформацією процесів прийняття рішень, зокрема управлінських, шляхом організації неперервних спостережень за об'єктом та обробки і перетворення результатів цих спостережень. Перелік показників стану об'єкта, періодичність цих спостережень, їх точність визначають достовірність та адекватність результатів моніторингу і, відповідно, і ефективність рішень, що приймаються на основі моніторингової інформації.

Загально відомо, що основою будь-якої моніторингової інформаційної системи (МІС) є технічні системи реєстрації чисельних характеристик об'єкта — датчики, прилади, інформаційно-вимірювальні системи. Якість моделювання об'єктів вимірювання (ОВ) є одним із основних чинників, які визначають ефективність функціонування всієї системи в цілому. Характеристики МІС, що визначає залежності захворюваності населення окремої адміністративної території від концентрації шкідливих речовин у повітрі, воді, продуктах харчування, ґрунтах, на сьогодні визначаються електрохімічними приладами. Відповідно до діючих нормативів відносні похибки вимірювань у них вважаються прийнятними, коли вони не перевищують 25% а в окремих випадках і 50%.

Таким чином діючі системи державного соціоекологічного моніторингу ґрунтуються на використанні моделей ОВ, використання яких призводить до втрати 25% інформації. Така значна похибка вимірювання свідчить про неадекватність моделей ОВ, що використовуються.

На сьогодні за діючими методиками найпоширенішим методом моделювання ОВ є математична статистика. Модель отримують в аналітичному вигляді за допомогою методу найменших квадратів як залежність результатів вимірювання від аналітичного сигналу та від впливаючих факторів, які спричиняють похибку вимірювання вигляду:

$$Y = aX \pm \Delta \quad (1)$$

де  $Y$  — значення вимірної величини;  $a$  — коефіцієнт пропорційності;  $X$  — аналітичний сигнал;  $\Delta$  — оцінка загальної похибки вимірювань, що містить систематичну та випадкову складову.

Процес отримання значення коефіцієнта  $a$  та похибки  $\Delta$  зветься калібруванням приладу, а вираз (1) — каліброваною залежністю.

Особливістю проектування багаторівневих моніторингових систем є те, що приходится проводити системне узгодження моделей різних рівнів, які створені за різними принципами та технологіями. Часто це призводить до втрати частини інформації, ускладнює конструкцію інформаційної системи. Тому доцільним є використати одну технологію моделювання на всіх рівнях моніторингу [1].

Була сформульована гіпотеза, що для покращення метрологічних характеристик засобів електрохімічних вимірювань, які застосовуються на мікрорівні соціоекологічного моніторингу, треба застосувати метод синтезу моделей з вищою різноманітністю, порівняно із методом найменших квадратів. В рамках технології багаторівневого моніторингу для синтезу моделей ОВ на мікрорівні необхідно застосувати методи синтезу моделей вищих рівнів. [2].

Для перевірки цієї гіпотези проведено експеримент. Проводилась обробка результатів вимірювання концентрації іонів міді та цинку в питній воді за методом інверсійної вольтамперметрії. Задача ідентифікації функціональної залежності результатів моделювання від аналітичного сигналу та характеристик процесу вимірювання розв'язувалась традиційним методом найменших квадратів і новим методом багатопараметричного моделювання шляхом послідовного випробування алгоритмів МГУА [3], нейроменез кількох топологій, гібридних алгоритмів, отриманих поєднанням МГУА, генетичних та інших еволюційних алгоритмів. Результати подані в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати застосування нової технології моделювання ОБ на мікрорівні моніторингу

№	Введено, мг/дм <sup>3</sup>		Отримано мг/дм <sup>3</sup>				Відносна похибка вимірювання, %			
			за традиційним методом		за новим методом		за традиційним методом		за новим методом	
	Мідь	Цинк	Мідь	Цинк	Мідь	Цинк	Мідь	Цинк	Мідь	Цинк
1	1,56	7,80	2,35	6,32	1,58	7,73	50,6	18,9	1,3	0,9
2	4,60	23,00	5,01	21,80	4,52	21,81	8,2	5,22	1,7	5,2

В умовах експерименту використання нового методу синтезу моделі ОБ дозволило зменшити похибку вимірювання на (0,02- 49,3) % .

Таким чином запропоновано новий метод моделювання об'єктів вимірювання в рамках технології багаторівневого соціоекологічного моніторингу. Цей метод може бути використано для покращення метрологічних характеристик засобів вимірювання, які на сьогодні мають значну похибку.

Список літературних джерел:

1. Голуб С.В. Багаторівневе моделювання в технологіях моніторингу оточуючого середовища / С.В. Голуб. – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2007. – 220 с.
2. Квасніков В.П. Індуктивне моделювання об'єктів вимірювання в процесі моніторингу довкілля / В.П. Квасніков, С.В. Голуб // Вісник НАУ. –2006. – № 1. – С. 8-13.
3. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. Киев: Наук. думка, 1981, 296 с., С. 38.

Й.Й.Білінський, д.т.н., проф.; М.В.Гладишевський, здобувач, Метрологічний центр НАК «Нафтогаз України»

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ШВИДКОСТІ ПЛИННИХ СЕРЕДОВИЩ

Ключові слова: ультразвук, швидкість плинних середовищ, ультразвуковий перетворювач, частота, амплітуда, амплітудно-частотний витратомір.

Ультразвукові витратоміри використовуються в промисловості для вимірювання об'ємної витрати рідини та газу вже на протязі 20 років. На шляху розробки нового амплітудно-частотного витратоміра, який оснований на визначенні різниці частот ультразвукової хвилі за та проти потоку, що відповідають швидкості потоку в межах ближньої зони ультразвукових перетворювачів, роботою [1] було запропоновано ультразвуковий метод вимірювання швидкості плинних середовищ, який полягає у визначенні частоти або різниці частот поширення ультразвукової хвилі, яка однозначно пов'язана з швидкістю плинного середовища, при якій визначається останній дифракційний максимум ближньої зони.

Ультразвук отримують за допомогою зворотного п'єзоелектричного ефекту, фізична суть якого полягає у тому, що при прикладенні до торцевої поверхні пластини з кварцу чи титанату барію (тибару) змінної електричної напруги пластина буде періодично змінювати свою товщину (стиск - розтяг). В свою чергу це призведе до того, що в прилягаючих до пластини шарах зовнішнього середовища виникає то розрідження, то згущення частинок середовища, тобто виникають механічні коливання ультразвукової частоти. Графічно ультразвукову хвилю можна зобразити у вигляді синусоїди, додатні півхвилі якої відповідають згущенню в середовищі, а від'ємні – розрідженню [2].

Таким чином, нижче описуються математична модель ультразвукового вимірювального перетворювача швидкості плинних середовищ на основі запропонованого методу [3].

Ланцюг перетворень амплітудно-частотного вимірювального перетворювача швидкості плинних середовищ має такий вид:

$$U_{\text{ex}}(f) \Rightarrow A(f) \Rightarrow A_{\text{рез}}(f) \Rightarrow U_{\text{вих}}(f),$$

де електричний сигнал, що подається на ультразвуковий перетворювач, описується як

$$U_{\text{ex}}(f) = U_{\text{max}} \cos(2\pi f + \varphi);$$

Ультразвуковий сигнал описується як

$$A_{\text{вих}}(f) = A_{\text{max}} \cos(2\pi f + \varphi).$$

Оскільки передавач ультразвукового сигналу передавача й приймача не є точковими. Проінтегрувавши по площі  $S_{\text{пер}}$  передавача й  $S_{\text{пр}}$  приймача, результуючий ультразвуковий сигнал, що пройшов через плинне середовище і був прийнятий приймачем з урахуванням затухання можна представити як

$$A_{\text{рез}}(f) = \iint_{S_{\text{пер}}} \iint_{S_{\text{пр}}} \kappa_{\text{зат}} A_{\text{max}} \cos(2\pi f + \varphi) dS_{\text{пер}} dS_{\text{пр}},$$

де  $\kappa_{\text{зат}}$  - коефіцієнт затухання.

Електричний сигнал на виході ультразвукового приймача описується як

$$U_{\text{вих}}(f) = \alpha_{\text{ем}} \kappa_{\text{п}} A_{\text{рез}} \cos(2\pi f + \varphi),$$

де  $\alpha_{\text{ем}}$  - коефіцієнт механічно-електричного перетворення;

$\kappa_{\text{п}}$  - коефіцієнт підсилення

При цьому фаза сигналу визначається як

$$\varphi = \frac{2\pi L}{\lambda},$$

де  $L$  - акустична довжина шляху ультразвукового променя.



Виходячи з умови запропонованого методу, фаза сигналу є величиною постійною. Тому нею можна знехтувати.

Вихідне значення напруги приймача повинно бути максимальним при виконанні умови розрахунку ближньої зони. Це відповідає відповідній частоті  $f$  – ультразвукових коливань, яка є мірою швидкості потоку. Тому якщо

$$U_{вух}^m(f) = U_{пик}, \text{ то}$$
$$f_{за} = \frac{D(V_{узх} + V \cos \alpha)}{2a^2 \sin \alpha},$$
$$f_{проти} = \frac{D(V_{узх} - V \cos \alpha)}{2a^2 \sin \alpha}.$$

У випадку використання різницевої схеми залежність різниці частот  $\Delta f$  за та проти потоку набуде вигляду:

$$\Delta f = \frac{DV}{2a^2 \tan \alpha}.$$

Таким чином, дана математична модель ультразвукового вимірювального перетворювача швидкості плинних середовищ, описує запропонований амплітудно-частотний метод вимірювання швидкості плинних середовищ, який заснований на залежності частоти ультразвукових коливань від швидкості потоку.

Список літературних джерел:

1. Білинський, Й.Й. Розробка ультразвукового методу вимірювання швидкості плинних середовищ [Текст] / Й. Й. Білинський, М. В. Гладишевський // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. - №4. – С. 19-24.
2. Білинський, Й. Й. Ультразвуковий метод вимірювання швидкості плинних середовищ [Текст]: матеріали 1-ої Всеукраїнської науково-технічної конференції / Й. Й. Білинський, М. В. Гладишевський // Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення. – Житомир: ЖДТУ, 2015. – С. 53–54.
3. Ультразвуковий спосіб вимірювання витрат рідких і/або газоподібних середовищ [Текст]: Пат. 98518 Україна МПК G0FB 1/00 / Білинський Й. Й., Городецька О. С., Гладишевський М. В.; заявник і патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № U201413183; заявл.08.12.2014; публ. 27.04.2015, Бюл. № 8. – 5 с.

**О.Б. Мокін, д.т.н., проф., Б.І. Мокін, д.т.н., проф., акад. НАПН України,  
В.П. Базалицький, магістр, В.В. Горенюк, інж. 1-ої кат., О.М. Кривоніс, студ.**

## **ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ВІТРОВОГО ПОТОКУ, СТВОРЮВАНОВОГО ЗАЛІЗНИЧНИМИ ПОТЯГАМИ**

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, вітровий потік, потужність, залізничний потяг.

Під час руху залізничні потяги в зоні кількох метрів створюють потужні вітрові потоки, енергію яких можна використовувати для генерації електричної енергії вітроенергетичними установками. Оцінку потужності вітрового потоку, створюваного залізничним потягом, за даними експерименту, описаного в роботі [1], нами було здійснено в роботі [2]. Особливістю цього експерименту було те, що залізничний потяг рухався вздовж спеціально встановленої стінки, на якій були розміщені давачі тиску. Цілком очевидно, що вітрові потоки, створювані рухом залізничного потяга в просторі, обмеженому з боку стінкою, мають інші характеристики та іншу потужність у порівнянні з вітровими потоками, створюваними залізничним потягом під час руху, не обтяженого обмеженнями у вигляді стінки.

Автори поставили перед собою мету – розробити таку інформаційно-вимірювальну систему (ІВС), за допомогою якої можна вимірювати потужність вітрових потоків, створюваних залізничним потягом під час руху, не обтяженого обмеженнями, тобто під час руху колією, прокладеною в чистому полі. Мету досягнуто і така 16-канальна ІВС нами створена. Давачами вхідної інформації у цій ІВС служать 16 вітрових мікрогенераторів, розміщених у вузлах металевій рамки периметром 4x4 метри, розбитої поперечними і повздовжніми металевими полосами на 16 квадрантів, встановленої перпендикулярно до залізничної колії так, щоб ближня до потяга сторона рамки знаходилась на відстані 0,5 метра від бокових стінок вагонів потяга. Ці мікрогенератори перетворюють швидкість вітрових потоків, створюваних залізничним потягом в площині рамки, в електричні сигнали, які підсилюються і за допомогою АЦП перетворюються в 16 потоків імпульсів, кількість імпульсів в кожному із яких за період дискретності є пропорційною швидкості вітрового потоку у кожному вузлі рамки. Далі ці потоки імпульсів обробляються в мікропроцесорі за спеціальною програмою, яка реалізує математичну модель, що зв'язує потужність вітрового потоку з його швидкістю, і результати у вигляді баз даних та графіків записуються в пам'ять.

Апробація розробленої ІВС була здійснена під час експерименту, проведеному на відрізку залізничної колії недалеко від Вінниці. Результати цього експерименту, які показали достатню для практики точність ІВС, представлені нами в роботі [3].

В доповіді будуть представлені структурна схема ІВС, алгоритм обробки сигналів, використані математичні моделі, програма комп'ютерного перетворення швидкостей у потужності, графіки зміни потужностей в часі, оцінка перспективи використання вітрових потоків, створюваних залізничними потягами, для генерації електричної енергії за допомогою вітроенергетичних установок, встановлених вздовж залізничної колії на безпечній відстані від залізничних потягів, що проходять повз них.

Список літературних джерел:

1. Мокін Б.І. Оцінка потужності, яка може бути отримана з вітрового потоку, створюваного рухом залізничного потяга./ Б.І. Мокін, О.Б. Мокін, В.П. Базалицький // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – №1. С.81-84.

1. Aerodynamic effects of high-speed trains research result / U.S. department of transportation // Federal railroad administration – RR03-07 2003.

2. Мокін О.Б. Оцінка потужності, яка може бути отримана вітроенергетичною установкою з вітрового потоку, створюваного залізничним потягом./ О.Б. Мокін, Б.І. Мокін, В.П. Базалицький, В.В. Горенюк // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Англ., рос. та укр. мовами. – 2013. – №2. – С.1-9. Режим доступу до журналу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3030/4596>.

**В.Б. Мокін, д.т.н., проф.; Г.В. Горячев, к.т.н., доцент;  
Д.Ю. Дзюняк, аспірант; К.О. Бондалетов**

## **ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ АВТОТРАНСПОРТОМ З ВИКОРИСТАННЯМ МОБІЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ ТА ФОТОМЕТРИЧНИХ, У Т.Ч. ЛАЗЕРНИХ, ПРИСТРОЇВ І СИСТЕМ**

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, модель забруднення повітря, автотранспорт, мобільні пристрої, фотометричні пристрої, лазерні пристрої, лідар, автоматизація

Автомобільний транспорт давно вже став одним з основних забруднювачів атмосферного повітря у містах. Забруднення стає відчутним для усіх об'єктів уздовж доріг, у т.ч. найбільш вразливих – лікарень, дитсадків, шкіл, об'єктів природно-заповідного фонду тощо. Запровадження будь-яких заходів для зменшення такого забруднення біля найбільш вразливих об'єктів (зміна режимів світлофорів, розширення доріг, побудова нових транспортних розв'язок, встановлення нових технічних засобів регулювання руху (ТЗРР) тощо) вимагає чималих витрат, які потребують серйозного обґрунтування їх необхідності та першочерговості. А це, у свою чергу, вимагає створення інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) для збирання, збереження та обробки відповідних даних спостережень.

Однією з головних задач, для яких розробляються такі ІВС, є ідентифікація моделі зміни значень показників якості атмосферного повітря (АП) над дорогою в залежності від кількості і типу автотранспорту на ній та різних факторів (швидкості і сили вітру, характеру рельєфу тощо), яка дозволить програвати сценарії прийняття рішень з оптимізації транспортної інфраструктури з відповідним поліпшення якості АП. Для побудови такої моделі слід напрацювати значну статистику та зібрати багато інформації різних видів: 1) інформація про статичні параметри ділянок доріг (довжина, кількість смуг, ТЗРР на них, рельєф тощо); 2) метеодані та інші умови; 3) дані про значення показників якості АП; 4) дані про кількість, тип автотранспорту та середню його швидкість на кожній ділянці дороги. Чимало інформації, у т.ч. автоматизовано через веб-сервіси, можна взяти у відповідних службах (перший вид даних – у дорожній та інших комунальних службах, другий – у гідрометцентрі), але для збирання даних третього та четвертого типів (про якість АП та автотранспорт) необхідно створити спеціальні ІВС з використанням різноманітних вимірювальних пристроїв і систем та сучасних інформаційних технологій.

Для вимірювання якості АП пропонуємо поєднувати 3 типи ІВС:

1. Інструментальні контактні стаціонарні ІВС, які встановлюються безпосередньо біля дороги. Вони досить детально висвітлені у різній літературі, наприклад у [1], тому не будемо на них детально зупинятись. Варто зазначити лише, що слід добре продумати розташування вимірювальних приладів та сенсорів уздовж доріг. Часто використовують ручне чи напівавтоматизоване збирання та оброблення даних вимірювань, але цей шлях, навіть з використанням інформаційних технологій для пришвидшення оброблення цих даних, як наприклад запропоновано у роботі [2], не підходить для даної задачі. Для цієї задачі є характерним постійна зміна умов досліджень (напрямок і сила вітру можуть значно змінюватись щохвилини, вносячи суттєву похибку в результати спостережень, коли виміряна кількість автотранспорту, що проїхала за, наприклад годину, не буде відповідати тому обсягу забруднень, який вловили вимірювальні прилади біля дороги. Тому слід поєднувати дані спостережень з ІВС мобільного типу.

2. Інструментальні мобільні ІВС, які встановлюються на ТЗ – наприклад, мультикоптер, що рухається над дорогою, або ТЗ з ІВС, який рухається всередині потоку по дорозі, АП над якою аналізується. Важливо в таких системах добре продумати місце розташування сенсорів – наприклад, на автомобілі краще їх встановлювати з лівого боку, на даху чи у передній частині автомобіля, щоб, по-перше, вони були ближчі до найбільш забрудненої осьової лінії дороги, а по-друге, щоб на спостереження менше впливали викиди ТЗ, на якому встановлена ІВС.

3. Дистанційні ІВС. Однією з особливостей забруднення АП є те, що вона може бути наслідком дії не локальних (автотранспорт), а глобальних факторів (масштабні лісові пожежі тощо). Тому треба постійно аналізувати дані дистанційного зондування і, у разі виявлення таких впливових глобальних факторів, або враховувати це у самій моделі з формалізованими локальними

факторами, або застосовувати інші моделі. Подібні дистанційні ІВС можна реалізувати або на базі численних супутникових систем спостережень, або на базі наземних систем типу лідар чи содар («Lidar» – це скорочення з англ. від «Light Detection and Ranging», «Sodar» – «Acoustic Radar, Sound Detection and Ranging») [3].

Для отримання інформації про параметри транспортних засобів (ТЗ) слід використовувати інші ІВС. ІВС для спостережень за закономірностями дорожнього руху повинна фіксувати такі параметри: кількість ТЗ; тип ТЗ; середню швидкість (у т.ч. динаміку заторів чи «пробок») на ділянці вулиці. Крім того, слід фіксувати параметри інфраструктури, які впливають на швидкість ТЗ, але можуть зазнавати змін (стан дорожнього покриття тощо). Вплив стану покриття доріг, заторів та інших факторів, які вимагають від ТЗ змінювати швидкість, необхідно враховувати у моделі для програвання сценаріїв розвитку дорожньої інфраструктури. Найпростіший спосіб такої формалізації – це у вигляді коефіцієнтів на кожній ділянці дороги у заданий момент часу:

$$K = K_r K_z K_m, \quad (1)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що визначає який відсоток від середньостатистичного складає середня швидкість на заданій ділянці, через відхилення у певних параметрах, що в даний момент мають місце:  $K_r$  – коефіцієнт, який враховує відхилення від середньостатистичного стану покриття дороги (при появі нерівностей він стає меншим 1,0);  $K_z$  – коефіцієнт, який враховує зменшення відносно середньостатистичного часу проїзду ділянки, обумовлене заторами (пробками);  $K_m$  – коефіцієнт, який враховує відхилення від середньостатистичного метеопараметрів, що ускладнюють рух ТЗ (у разі, якщо має місце ожеледь, туман, злива тощо, він стає меншим 1,0).

Для збирання інформації про закономірності дорожнього руху пропонується аналогічно до ІВС для спостережень за якістю АП використовувати ІВС стаціонарного та мобільного типу.

1. Вже традиційні стаціонарні відеокамери з подальшою автоматичною обробкою відеопотоку, наприклад на основі модулів пакету Matlab, але точність такої автоматичної обробки без участі людини невисока. Значно більшу точність забезпечують лазерні вимірювальні пристрої і системи, наприклад виробництва компанії «SICK» (Німеччина), які використовуються, як правило, але не тільки, на платних автомагістралях (рис. 1а,б,в):

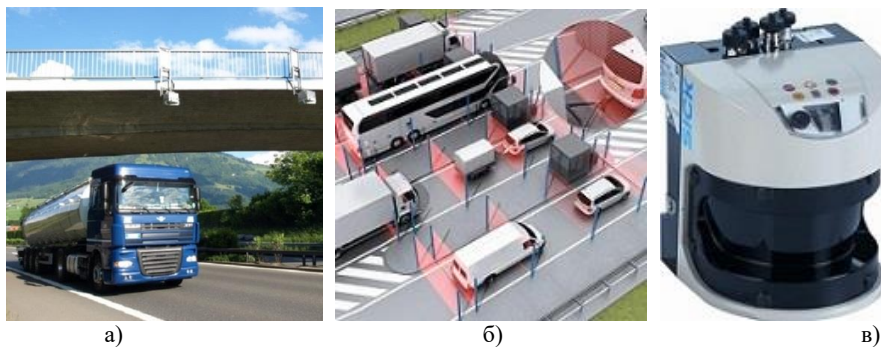


Рисунок 1. Лазерні пристрої для автоматичної ідентифікації класу ТЗ по його довжині і контурах (<http://www.roadtraffic-technology.com/contractors/detection/sick-traffic-sensors>): а) односмуговий по контуру «Profiling System» – TIC1xx Pro; б) багатосмуговий по кількості осей і відстані між ними «Measuring Automation Light Grid» – MLG-2 Pro; в) багатосмуговий прецизійний по 2D-контурі «2D Laser measurement systems» – LMS5xx

Такі пристрої, у разі їх налагодження на кожну смугу дороги можуть дати повну інформацію про кількість, тип та, після обробки, і швидкість усіх видів ТЗ, але через високу вартість, їх кількість обмежують лише основними транспортними магістралями або, як правило, платними. Крім того, їх стаціонарне розташування не може дати інформацію про усі закономірності транспортного потоку на ділянках між місцями контролю, тобто не можна відслідкувати закономірності формування цього потоку, що необхідно для прогнозування зміни параметрів. Тому пропонуємо дані спостережень цих ІВС доповнювати даними з мобільних ІВС.

2. Мобільні ІВС або ІВС, що встановлюються на ТЗ: мультикоптер з ІВС, що рухається над дорогою, або транспортний засіб з ІВС, який рухається всередині потоку по дорозі. Така ІВС повинна обов'язково містити засоби GPS, відеоспостереження та фотометричні пристрої чи радарні системи для ідентифікації параметрів інших ТЗ на дорозі, встановлені на/у ТЗ з ІВС. Оптимальним є поєднання такої ІВС з ІВС для спостереження якості АП. Щодо мультикоптера, то стандартну відеокамеру, що спрямована, як правило вперед, треба доповнювати відеокамерою, направленою вертикально вниз, що зменшує похибку ідентифікації ТЗ за її допомогою.

3. Розподілені ІВС на основі веб-сервісів та збирання даних з індивідуальних мобільних пристроїв з GPS, які є у водіїв і підключені до цих сервісів. Найбільш відомими є такі веб-сервіси:

- Карта пробок («Map Lag») з можливістю прогнозування трафіку на задану годину у заданому місці (наприклад, «Google.Трафік» або «Яндекс.Пробки»);

- Визначення нерівностей на дорогах з використанням акселерометра у смартфонах водіїв («Дороги України» (від «studio.stfalcon.com», м. Хмельницький) та аналогічні рішення на базі веб-сервісів компанії Google).

Дані цих сервісів дозволяють отримувати та використовувати у моделях поточні і прогнозні дані щодо закономірностей дорожнього руху, які важко отримати в інший спосіб.

За критерієм «Вартість/Можливості» оптимальним вважаємо побудову комплексних ІВС з поєднанням засобів і методів спостережень даних усіх цих типів з єдиною мережевою базою даних, в якій збирається і зберігається уся необхідна, але синхронізована у часі й просторі, інформація (з поєднанням даних про дорожню інфраструктуру, метеоданих, даних про якість АП та закономірності дорожнього руху) та на її основі проводиться аналіз, візуалізація з використанням геопорталів, наприклад Google Earth, та програвання сценаріїв розвитку.

Авторами було створено пілотну версію такої системи та проведено її успішні випробування на дорогах м. Вінниця [4]. В основі комплексної ІВС лежить система, побудована з використанням датчика концентрації CO у повітрі, апаратної обчислювальної платформи Arduino та сумісних із нею периферійних пристроїв. Для GPS-геолокації використовується звичайний смартфон. Розроблено програмне забезпечення (ПЗ) операцій збирання, збереження та оброблення даних ІВС для смартфона з Android (рис. 2а), компактність якого дозволяє встановлювати ІВС і на мультикоптері (рис. 2б). І є варіант реалізації ПЗ, більш зручний для застосування ІВС у польових умовах – на ноутбучі з MS Windows (рис. 2в). Для синхронної відеозйомки закономірностей дорожнього потоку на дорозі використовується автомобільний відеореєстратор (рис. 2в). Авторами розроблено веб-інтерфейс, який дозволяє збирати дані вимірювань одночасно з багатьох таких ІВС й обробляти та візуалізувати результати у геопорталі Google Earth.



Рисунок 2. Авторська ІВС для ідентифікації параметрів моделі забруднення атмосферного повітря автотранспортом на основі мобільних пристроїв, установлених на ТЗ: а) програмно-технічне забезпечення ІВС; б) один із авторів цієї статті зі своїм квадрокоптером; в) інші двоє авторів цієї статті перед випробуваннями розробленої ІВС у м. Вінниця

1. Боголюбов В. М. Моніторинг довкілля: підручник / [В. М. Боголюбов, М. О. Клименко, В. Б. Мокін та ін.]; під ред. В. М. Боголюбова і Т. А. Сафранова.– Херсон: Гринь Д. С., 2011.– 530 с.

2. Automation of measurement processing of substance concentration in water by photometric methods in monitoring and control system of a state / V. Mokin, M. Botsula, A. Yascholt, W. Wojcik, A. Burlibay // Proc. SPIE 8698, Optical Fibers and Their Applications 2012, 86980I (January 11, 2013). – DOI:10.1117/12.2019739.

3. Remote sensing detection of atmospheric pollutants using Lidar, Sodar and correlation with air quality data in an industrial area / Juliana Steffens; Renata F. da Costa; Eduardo Landulfo; Roberto Guardani; Paulo F. Moreira; Gerhard Held // Proc. SPIE 8182, Lidar Technologies, Techniques, and Measurements for Atmospheric Remote Sensing VII, 81820Z (September 30, 2011); DOI: 10.1117/12.897915.

4. Бондалетов К. О. Мобільна аналітична комп'ютерна система для оперативного моніторингу стану атмосферного повітря міста / К. О. Бондалетов, Д. Ю. Дзюняк, В. Б. Мокін // Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи : матеріали Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції, 23-26 квітня 2015 року / ВНТУ. – Вінниця, 2015. – С. 76-77.

Н.А. Иконникова, к. т. н.

## ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ХАОТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ИХ РАБОТЫ

Ключевые слова: математическое моделирование, хаотические процессы, контроль динамических процессов.

В сложных горных технических системах динамические хаотические процессы часто являются весьма опасными и приводят к их разбалансировке или даже аварийному разрушению. Для примера систем с хаотическими режимами работы можно рассматривать механические системы, в которых имеются эксцентрически неуравновешенные массы, вращающиеся относительно нефиксированных центров вращения. Это буровые ставы, маятниковые и рычажные, кулачковые и молоточковые механизмы, механизмы с рабочими органами-эксцентриками, роторные и ковшовые экскаваторы, горные комбайны и погрузочные машины, дробилки и шаровые мельницы, мельницы принудительного самоизмельчения, раскачивающиеся грузы на упруго деформирующихся стрелах и канатах подъемных кранов. Поэтому математическое моделирование таких процессов в целях предупреждения возникновения явления хаотизации становится актуальной научной задачей.

Иногда, на первый взгляд, полностью прогнозируемая детерминированная система ведет себя хаотически, то есть непредсказуемо. В настоящее время это быстро развивающееся направление исследований. Моделирование динамических процессов в детерминированных системах, для которых возможны хаотические режимы, является сложной, неоднозначной задачей, поскольку результаты моделирования критически чувствительны к незначительным изменениям параметров системы. При этом огромное значение имеет алгоритм и реализованная точность вычислений.

Динамические процессы, такие как, например, разрушение загрузки в барабане мельницы, представляет собой сложную иерархическую структуру с турбулентным движением пульпы и вихреобразным пульсирующим движением загрузки. Такой процесс движения носит стохастический и нелинейный характер, а турбулентность, как нерегулярное поведение нелинейной системы, непосредственно связана с динамическим трехмерным хаосом и характеризуется сложным пространственно-временным поведением.

Часто при моделировании механизмов и технических систем, которые приведены выше, на основе уравнений динамики возникают ошибки. Причиной этого является неправильное определение центра вращения, поскольку он значительно смещается в пространстве за время одного шага интегрирования. Если эти системы проявляют себя как хаотические, то обнаружить ошибку, качественно анализируя графики переходных процессов, достаточно сложно.

Возможен другой путь исследований, а именно, вывод выражений, описывающих кинематику системы, используя уравнения Лагранжа. Проф. Дж. М. Т. Томпсон указывал: «Уравнения Лагранжа продолжают играть в механике фундаментальную роль благодаря тому, что основанный на них подход является более общим, чем векторный подход Ньютона: они естественным образом привели к представлению о «минимуме общей потенциальной энергии в состоянии устойчивого равновесия консервативной системы» [1].

Для определения влияния погрешности итераций и порядка вычислений величин угловых ускорений эксцентрически смещенных масс внутри одной итерации на поведение динамических систем впервые выполнено методами аналитической механики математическое моделирование материальной системы, состоящей из трех связанных идеальных математических маятников, причем дополнительно рассмотрен вариант, в котором первый маятник жестко соединен с маховиком [2]. Определены параметры и критерии определения допустимой погрешности итераций для математического моделирования динамических процессов в горных технических системах. *Критерием адекватности программной модели будем считать постоянство полной энергии замкнутой системы.* Для систем, которые используют в технических приложениях (т. е. для систем с конечными массами и ограниченными геометрическими размерами, а также для упрощенных адекватных моделей таких систем), сходимость итерационных вычислений



обеспечивается в любом случае. Вопрос выбора допустимой погрешности итераций и порядка вычислений величин угловых ускорений внутри одной итерации является очень важным. Если изменить установленный порядок вычислений, то полученные значения угловых ускорений также изменяются, хотя и на меньшую величину, чем допустимая погрешность итераций. Тем не менее, эти незначительные изменения могут оказаться существенными для определения текущих координат центров масс в конкретный момент времени, так как системы динамического хаоса являются очень чувствительными к начальным условиям (смотри таблицу и рисунок).

Таблица Перечень значений шага счета по времени и допустимой относительной погрешности итерационных приближений при вычислении угловых ускорений эксцентрически смещенных вращающихся масс

№ п/п	Шаг счета по времени, с	Относительная погрешность итераций, о. е.	Число итераций	Номер графика на рисунке
1	0,001	0,1	6	1
2	0,001	0,01	10	2
3	0,001	0,001	14	3
4	0,001	0,0001	16	4
5	0,0005	0,1	4	5
6	0,0005	0,01	8	6
7	0,0005	0,001	12	7
8	0,0001	0,001	8	8

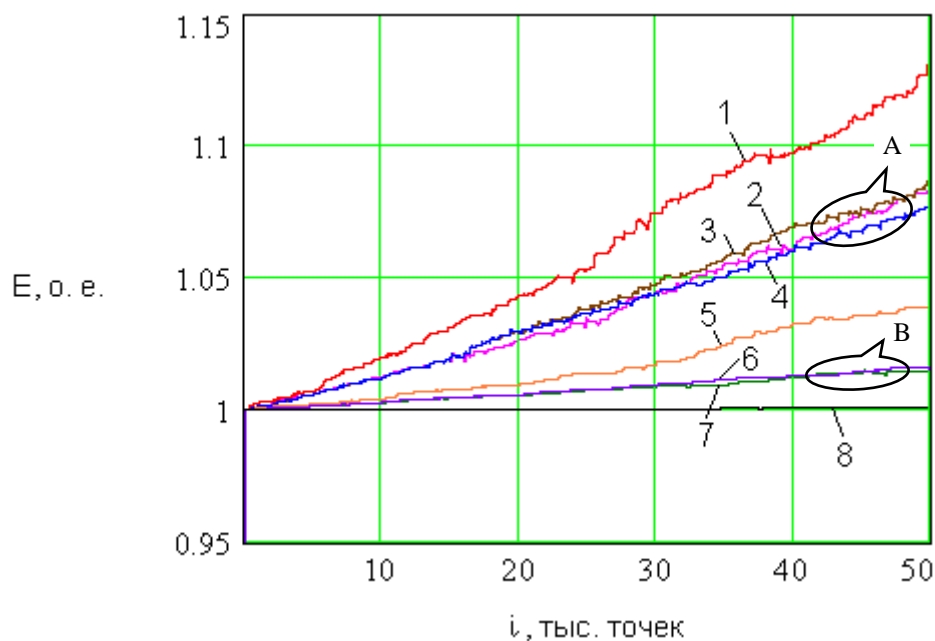


Рисунок – Изменение общей энергии модели системы, обусловленное погрешностью моделирования.

Одним из необходимых условий адекватности программной модели механической или геотехнической системы с эксцентрически неуравновешенными вращающимися относительно нефиксированных центров массами является достоверное определение координат центров вращения и векторов мгновенной скорости, в частности методом итерационных приближений. Порядок вычисления внутри одной итерации взаимозависимых угловых ускорений эксцентрически неуравновешенных масс для системы, проявляющей себя как генератор динамического хаоса, существенно влияет на численные значения текущих координат центров этих масс в каждый последующий момент времени после прохождения ближайшей области локальной неустойчивости, однако не изменяет качественно характер протекающих процессов и общие энергетические характеристики модели.

Незначительный рост значения полной энергии объясняется погрешностью численного интегрирования, однако на протяжении десятков циклов даже самых низкочастотных колебаний энергия системы практически не изменяется, что говорит об адекватности модели. Тем не менее,

анализируя рисунок можно заметить, что при одном и том же значении шага интегрирования по времени уменьшение допустимой погрешности итераций с 0,1 о. е. до 0,01 о. е. приводит к существенному выполаживанию графика потенциальной энергии (пары графиков 1 – 2 и 5 – 6 на рисунке). В то же время дальнейшее уменьшение допустимой погрешности итераций с 0,01 о. е. до 0,0001 о. е. практически не улучшает качество моделирования (группы графиков «А» и «В»). При этом число итераций растет в 1,5...1,6 раз. В этой связи предлагается принимать допустимую погрешность итераций равной 0,01 о. е. при ограниченном вычислительном быстродействии ЭВМ, на которой производится моделирование, и значительной сложности модели. Если же время вычислительного эксперимента не является критичным параметром, то допустимую погрешность итераций можно принять равной 0,001 или 0,0001 о. е. Уменьшение шага интегрирования по времени в данном случае обеспечит более значительный эффект, чем дальнейшее уменьшение допустимой погрешности итераций (группы графиков «А» и «В»).

Порядок вычисления угловых ускорений внутри одной итерации влияет на полученные значения в пределах допустимой погрешности, а, следовательно, и на форму траектории, которую обрабатывает система. Однако в любом случае модель остается адекватной: характер динамического процесса и энергетические характеристики системы не изменяются.

Траектории центров масс системы трех связанных маятников даже в приложении к плоской задаче образуют сложные фигуры, имеющие фрактальный характер, которые могут рассматриваться как гладкие отображения поверхностей на плоскость, имеющие складки и сборки. Следовательно, движение таких систем можно анализировать с точки зрения теории катастроф для выявления (в технических приложениях – для прогнозирования и предупреждения) скачкообразных изменений, возникающих в виде внезапных ответов на плавное изменение условий (в технических приложениях – постепенный износ деталей, плавное увеличение нагрузок, нарушение температурных режимов, ухудшение параметров изоляции, плавное насыщение магнитных систем и др. факторы по отдельности и в комплексе).

Расчеты показали, что для трехплечевой маятниковой системы старший ляпуновский показатель, определенный по алгоритму Бенеттина, положителен и в зависимости от конкретных начальных условий принимает значения от 0,1 до 2,2. Наиболее простым и доступным способом диагностики динамических процессов является анализ акустических и электрических сигналов [3]. Информационными параметрами перехода процессов к хаосу могут быть: удвоение периода, равномерное распределение энергии в широкой полосе частот спектра, быстрое затухание автокорреляционной функции и чередование колебаний в разных плоскостях. На основе моделирования процессов хаотизации усовершенствован метод диагностики в реальных технических системах. Этот метод базируется на контроле акустических сигналов конусными датчиками по взаимно перпендикулярным направлениям и отражает тенденцию возможных фазовых переходов. Это позволяет учесть поляризацию колебаний и повысить информативность измерений известных параметров: начальной потери устойчивости системы, удвоение периода, потери устойчивости удвоенного цикла, потери дискретности спектра. Такой подход позволит наиболее адекватно моделировать работу технических систем с учетом хаотических процессов, что даст возможность заблаговременно предупреждать возникновение явлений хаотизации и предотвращать аварийные ситуации во время работы технологического оборудования.

Список литературных источников:

1. Томпсон Дж. М.Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике / Томпсон Дж. М.Т.; пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 254 с.
2. Иконникова Н.А. Особенности моделирования динамики хаотических процессов в детерминированных системах методами аналитической механики / Н.А. Иконникова // Геотехническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ, 2007. – № 73. – С. 263-280.
3. Моделирование и контроль динамических процессов в задачах оценки состояния геотехнических систем: монография / Н.А. Иконникова, В.И. Корсун, А.И. Слащев, Алекс. А. Яланский, А.А. Яланский. – Днепропетровск: НГУ, 2015. – 279 с.



**О.М. Возняк, к.т.н., С.В. Тихонова; І.В. Климчук, студент**

### **АНАЛІЗ СУЧАСНИХ БОРТОВИХ КОМП'ЮТЕРІВ**

Ключові слова: бортовий комп'ютер, електронна цифрова система, функціональність, спеціалізація, централізація.

У необхідності бортового комп'ютера в машині сучасного автомобіля сумніватися більше не доводиться. Провідні світові виробники автомобілів давно використовують бортовий комп'ютер в базовій комплектації автомобіля. Основною метою бортового комп'ютера є оцінка первинних параметрів та характеристик руху відповідного транспортного засобу (автомобіля), достовірне визначення його місця розташування, швидкості, динаміки руху (прискорень).

У розвитку автомобільної цифрової електроніки в даний час спостерігаються дві різноспрямовані тенденції – об'єднання всіх функцій в одному центральному бортовому комп'ютері і оснащення автомобілів спеціалізованими автономними комп'ютерами.

Об'єднання керуючих, діагностичних, маршрутних, інформаційних і розважальних функцій в одному центральному пристрої здешевлює електронну систему автомобіля в цілому, спрощує ремонт. Однак при виході з ладу центрального бортового комп'ютера, водій позбавляється відразу: системи супутникової навігації, засобів зв'язку, діагностики, аварійної сигналізації, а при глибокій інтеграції всіх систем і можливості продовжувати рух в принципі.

Ще однією перевагою цих пристроїв є можливість оснащення електронною цифровою системою автомобіль, який спочатку для цього не призначався, у тому числі і машин старих марок. При цьому слід зауважити, що глибокої інтеграції електронних систем діагностики, контролю роботи і управління вузлами автомобіля домогтися не вдається, оскільки це пов'язано з дорогими переробками основних агрегатів машини – двигуна, головної передачі, електричної системи і так далі. Зворотньою стороною об'єднання безлічі функцій в одному центральному пристрої є складне управління системою в цілому [1].

Система спеціалізованих комп'ютерів з вузькою функціональністю виходить дуже надійною, простою в управлінні, але дорогою у виробництві, складною у налагодженні та сильно позначається на вартості автомобіля. Важливою перевагою подібної системи є можливість поступового зростання функцій. Автомобілі однієї моделі можуть відрізнятися за оснащеністю і, відповідно, продаватися за різною вартістю. У власника автомобіля з'являється можливість удосконалити функціональність бортового комп'ютера, отримати додаткові зручності у міру їх необхідності.

Розвитком концепції бортового комп'ютера першого типу, що об'єднує всі функції в одному обчислювальному пристрої, займаються виробники цифрової техніки. Розвитком концепції бортового комп'ютера другого типу, із застосуванням безлічі спеціалізованих комп'ютерів (і комп'ютеризованих систем) займаються самі виробники автомобілів. В даний момент вектор розвитку зсувається в бік автовиробників. На ринку з'являється все більше моделей автомобілів, в яких інформаційна, навігаційна та розважальна системи входять в стандартну комплектацію машини.

В даний час без розвинутої системи комп'ютерного управління агрегатами транспортного засобу неможливе створення автомобілів з гібридною силовою установкою. Сьогодні це найбільш «комп'ютеризований» тип легкових автомобілів, що випускаються серійно [2].

Список літературних джерел:

1. Соснин Д.А., Яковлев Д.Ф. “Новейшие автомобильные электронные системы” – М, Солон-пресс, 2005.
2. Данов Б.А. “Электронные системы управления иностранных автомобилей” – М, Горячая линия – Телеком, 2002.

**К.В.Овчинников, к.т.н; Т.В.Лисак, студент**

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ПРИДАТНОСТІ ДО ВИКОРИСТАННЯ КОЛІСНОЇ БАЗИ ВАГОНІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Ключові слова: автоматизована система, колісна база, колісна пара, вагони, залізничний транспорт, вимірювання, переміщення, тиск, діаграма, пресування.

В період експлуатації та на стадії ремонту чи виробництва вагонів залізничного транспорту найбільш жорсткі вимоги до надійності висуваються до вузлів ходової частини, зокрема до колісних пар що приймають на себе більшу частину навантаження під час руху вагона. Важливою особливістю є те, що колісна база встановлена на вагонах залізничного транспорту не є монолітною деталлю [1], а складається з трьох частин: колісної пари(два колеса) та вісі на якій встановлюється пара коліс. Колеса запресовуються на вісь під дією тиску, що в результаті забезпечує нероз'ємне з'єднання колеса з віссю без проковзування. Такий підхід у виготовленні колісної бази зменшує затрати на виробництво оскільки виготовлення колісної бази як суцільної деталі потребувало б значно більших затрат як матеріалів так і зусиль на її виготовлення.

Для вагонів з підшипниками ковзання застосовуються колісні пари типу ПІ-950 [2,3], які підкочуються під вантажні вагони, осі типів РУ, РУ1 і РУ1Ш, обладнані роликковими підшипниками, і з колесами діаметром 950 мм встановлюють під вантажні вагони, а з колесами діаметром 950 і 1050 мм - під пасажирські вагони.

Сьогодні для формування колісної бази використовують пресову посадку, яка, на відміну від теплової забезпечує споживача документом (діаграмою пресування), що підтверджує якість проведених робіт. Діаграма будується в процесі пресування колісної пари на вісь, а висновок про якість проведених робіт робиться за такими параметрами:

- довжиною сполучення (діаграми);
- величиною кінцевого зусилля пресування;
- формою діаграми.

На сьогоднішній день існують уже готові інформаційно-вимірювальні системи для визначення придатності з яких можна виділити наступні: прилад ДП РПІ 60МП10 для запису діаграм "тиск-шлях"[4]; пристрій електронної реєстрації процесу пресування колеса на вісь[5]; вимірювачі тиску та переміщення ІТП-150-250-04[6]. Але основна задача таких пристроїв модернізація морально застарілих паперових реєстраторів використовуваних на пресах. Висновки ж про придатність колісної бази робить людина.

Для автоматизації процесу пресування розроблена система [7] визначення придатності до використання колісної бази вагонів залізничного транспорту на основі якої створена можливість автоматизованого визначення параметрів діаграми пресування. Оцінені похибки вимірювання інформативних параметрів процесу пресування та оцінені вірогідність прийняття правильного висновку.

Список літературних джерел:

1. Михалевич М.П. Изготовление и ремонт колесных пар: методические указания / М.П.Михалевич – изд-во ДВГУПС 2009. – 50 с. :ил.
2. ГОСТ 4835-2006. Колесные пары вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия.
3. ГОСТ 4835-2013. Колесные пары железнодорожных вагонов. Технические условия.
4. Прилад для запису діаграм "тиск-шлях" [електронний ресурс] Режим доступу: <http://5406483.ru/>
5. Пристрій електронної реєстрації процесу пресування колеса на вісь [електронний ресурс] Режим доступу: [http://ru.dtest.ru/catalog/3/ustroystvo\\_elektronnoy\\_registratsii\\_pr\\_otsessa\\_zapressovki\\_kolesa\\_na\\_os/](http://ru.dtest.ru/catalog/3/ustroystvo_elektronnoy_registratsii_pr_otsessa_zapressovki_kolesa_na_os/)
6. Вимірювачі тиску та переміщення [електронний ресурс] Режим доступу: <http://pdf.reestr.si.ru/file/44542-10.pdf>
7. Шабатура Ю.В.Звіт про науково-дослідну роботу "Розробка методів вимірювань та ІВС для визначення переміщень товщин і тисків в технологічних процесах вагоноремонтного виробництва. / Ю.В. Шабатура., К.В.Овчинников, І.М. Штельмах, 2009, 31с.

**К.В.Овчинников, к.т.н; Ю.А.Шевчук, студент**

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТВЕРДОПАЛИВНИМ КОТЛОМ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ**

Ключові слова: тверде паливо, котел, мала потужність, тиск, температура, система управління.

На сучасному етапі розвитку техногенного суспільства все гостріше постає питання ефективного використання природних ресурсів і зокрема вичерпних, для забезпечення необхідних об'ємів електричної та інших видів енергії. Не є секретом, що об'єми корисних копалин обмежені, і тому вже зараз необхідно створювати технології, побудовані на відновлюваних джерелах. З іншого боку економічна ситуація на ринку енергетичних ресурсів сприяє вдосконаленню та розвитку нових технологій, більш ефективних, дешевих способах отримання енергії.

Основна частина опалювальної техніки в Україні складається з водогрійних котлів малої потужності до 100 кВт, і переважна більшість з яких - газові. Твердопаливні ж котли частіше застосовуються в районах з низьким рівнем газифікації [1,2], проте застосування такого обладнання доцільно як з економічної точки зору так і з екологічної.

Одним з альтернативних шляхів отримання теплової енергії є використання процесу піролізу для розкладання органічної сировини на складники при високій температурі і отримання генераторного газу, на заміну природному. Переваги газогенераторних установок перед прямим спалюванням сировини незаперечні, проте таким процесом необхідно керувати, для забезпечення максимальної ефективності. Тому перспективним напрямком є розробка систем автоматизованого управління твердопаливними котлами малої потужності.

Запропонована автоматизована система управління твердопаливним котлом малої потужності складається з двох вимірювальних каналів: температури та тиску, і блоку управління, до складу якого входять: модуль управління насосом, для відбору тепла із зони горіння та вентилятора, що нагнітає повітря в топку котла. Обертими вентилятора можливо керувати, що дозволяє організувати подібність автоматичного регулювання. До сьогодні адекватної математичної моделі горіння не існує, тому створити автоматичну систему управління процесом згоряння палива надскладна задача, особливо на стадії розпалювання та зупинки котла. Врахувати всі чинники, які впливають на процес горіння та теплообміну неможливо і відповідно побудувати передатну функцію системи управління для реалізації апаратної складової досить складно. Тому в запропонованій системі реалізований простий варіант керування процесом горіння який заснований на принципі від'ємного зворотного зв'язку. При наближенні температури теплоносія до заданого значення, вентилятор плавно зменшує швидкість обертання, причому різницю температур можна задавати відповідно до конкретного об'єкту. Такий підхід дозволяє збільшити ефективність використання палива в порівнянні з традиційними методами управління. Одночасно проводиться вимірювання тиску для визначення аварійних станів, які характеризуються підвищення тиску в теплообмінній зоні.

Розроблені варіанти структурних схем, проведений критеріальний аналіз. Для вимірювального каналу температури обраний напівпровідниковий термоопір (термістор КТУ81-210 [3]), який в складі вимірювального каналу забезпечив похибку вимірювання порядку 1%. В складі вимірювального каналу тиску був використаний промисловий сенсор МИДА-13П-К(Н) з діапазоном вимірювання 0..1960 Па [4].

Список літературних джерел:

8. Степанов Д.В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності: монографія / Д.В. Степанов, Л.А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 148 с.

9. Ткаченко С.Й. Перспективні напрямки використання біомаси як джерела енергії / С.Й. Ткаченко, Л.А. Боднар, А.О. Юзюк // Вісник вінницького політехнічного інституту. Енергетика та електротехніка. – 2011. – №2. – С.68 – 73.

10. KTY81 Series. Silicon temperature sensors [електронний ресурс] Режим доступу: [http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/KTY81\\_SER.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/KTY81_SER.pdf)

11. Датчики давления МИДА-13П. Руководство по эксплуатации [електронний ресурс] Режим доступу: <http://midaus.com/docs/13p.pdf>

І.О. Сивак д.т.н., проф., зав. каф. ТАМ, Д.О. Лозінський, к.т.н., доц.,  
Є.І. Шевчук, аспірант, В.Г. Пилявець ст. гр. 1ТМ-14мн

## ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РОТАЦІЙНОЮ ВИТЯЖКОЮ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ЗАГОТОВОК

Ключові слова: електрогідравлічна система керування, ротаційна витяжка, деформація, електрогідравлічний привод, математична модель.

Ротаційна витяжка – це процес локального циклічного деформування плоскої або порожнистої заготовки, що обертається, деформуючим інструментом у вигляді одного або декількох роликів. Інструменти при ротаційній витяжці найчастіше не прив'язані до геометрії деталей, тому даний спосіб має високу формоутворювальну гнучкість не тільки в сфері серійного виробництва, а й при виготовленні обмеженої кількості деталей і виготовлення одиничних прототипів і є реальною альтернативою звичайному листовому штампуванню при виготовленні вісесиметричних деталей [1-2].

З точки зору формоутворення процес ротаційної витяжки досить не простий і якість та швидкість його виконання у великій мірі залежить від системи керування, яка відповідає за виконання формоутворювальних рухів та їх відповідність заданим вхідним даним.

В роботі для виконання процесу ротаційної витяжки запропоновано застосувати електрогідравлічну систему керування, що дає можливість виготовляти деталі на різних верстатах токарно-фрезерної групи включаючи верстати з ЧПК, забезпечуючи можливість регулювання зусилля та встановлення необхідного закону руху робочого органу [3].

Для забезпечення автоматизованої ротаційної витяжки розроблено технологічний комплекс на базі токарного верстату 16К20 та електрогідравлічну систему керування однокоординатним електрогідравлічним приводом, яка оснащена стежними засобами та контролером, забезпечує автоматизований цикл обробки та дозволяє програмувати рух інструмента за відповідним законом.

Структурний комплекс наведений на рис. 1.

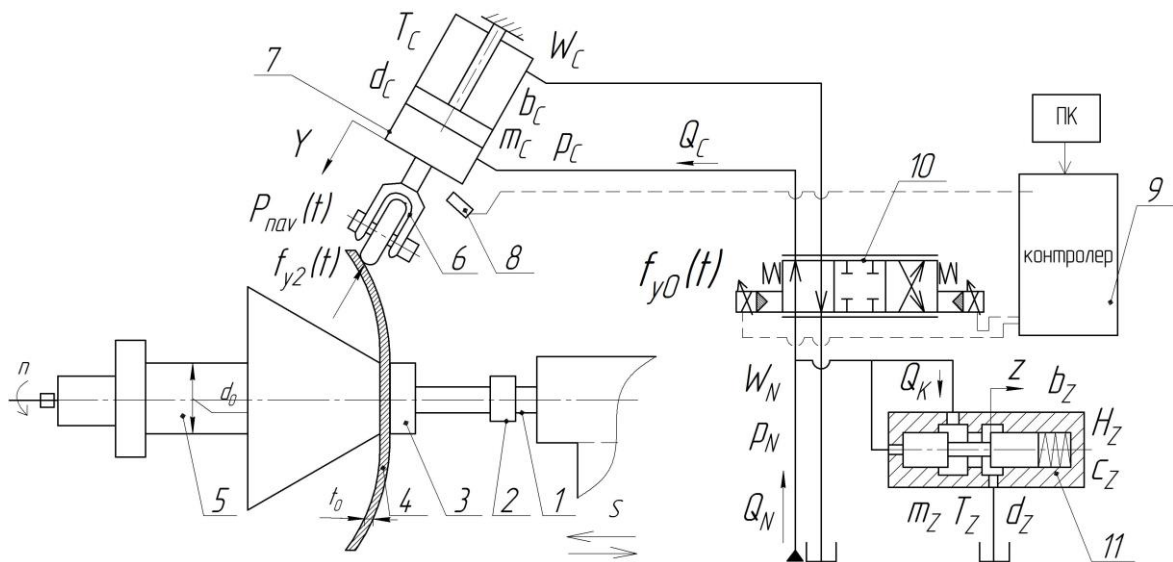


Рис. 1 – Структурний комплекс з електрогідравлічною системою керування

При ротаційній витяжці вісесиметричну листову заготовку 4 з товщиною стінки  $t_0$  встановлюють на оправку 5 діаметром  $d_0$  і притискають до неї піноль задньої бабки 1 через центр, що обертається 2 та притиск 3.

Переміщення робочого інструменту 6 керується пропорційним електрогідравлічним розподільником 10, а контролювання виконується датчиком переміщення 8, який передає сигнал до контролера 9, а той в свою чергу може змінювати керуючий сигнал для електрогідравлічного розподільника 10, при відповідній необхідності. В приводі присутній також переливний клапан 11, який корегує тиск в системі при виході його за певні встановлені межі.

Для дослідження роботи запропонованого комплексу було розроблено розрахункову схему та на її основі, математичну модель (1) – (6). [4].

Дослідження роботи розробленої електрогідравлічної системи керування виконані на основі математичної моделі, що включає рівняння нерозривності потоків (1), (2), рівняння сил, що діють на гідроциліндр 7 та переливний клапан 11 – (3), (4), а також рівняння, що визначають корегування керуючого сигналу за допомогою зворотнього зв'язку (5), (6) [4-5].

$$Q_N = \mu \cdot \pi \cdot d_Z \cdot z \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p_N}{\rho}} + \mu \cdot \pi \cdot d_X \cdot x \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_N - p_C|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_N - p_C) + \beta \cdot W_A \cdot \frac{dp_N}{dt}; \quad (1)$$

$$\mu \cdot \pi \cdot d_X \cdot x \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot |p_N - p_C|}{\rho}} \cdot \text{sgn}(p_N - p_C) = F_C \cdot \frac{dy}{dt} + \beta \cdot W_C \cdot \frac{dp_C}{dt}; \quad (2)$$

$$m_C \frac{d^2 y}{dt^2} = p_C \cdot F_C - b_C \frac{dy}{dt} - T_y \cdot \text{sgn} \frac{dy}{dt} - p_{NAV}; \quad (3)$$

$$m_Z \frac{dV_Z}{dt} = p_N \cdot F_Z - c_Z \cdot (H_Z + z) - b_Z \frac{dz}{dt} - T_Z \cdot \text{sgn} \frac{dz}{dt}; \quad (4)$$

$$x = f_{x0}(t) - k\Delta; \quad (5)$$

$$\Delta = y(t) - f_{y0}(t). \quad (6)$$

В математичній моделі позначено:  $P_N$  – зусилля навантаження, що розраховане за емпіричною формулою  $P_N = 75 - 2t$  [4];  $Q_N$  – витрата в лінії нагнітання розподільника;  $p_N, p_C$  – тиски в лінії нагнітання та в порожнині гідроциліндра 7;  $x, z, y$  – координати переміщення рухомих елементів розподільника 10, клапана 11 та гідроциліндра 7 відповідно;  $W_N, W_C$  – об'єми гідроліній у відповідних частинах системи;  $\alpha, \beta_1$  – кути нахилу робочих кромek золотника розподільника 10 та золотника клапана 11;  $c_Z$  – жорсткість пружини клапана 11;  $m_Z, m_C$  – маси рухомих елементів: золотника клапана 11 та гідроциліндра 7;  $T_C, T_Z$  – сили сухого тертя, що діють на елементи гідроциліндра 7 та клапана 11;  $b, b_Z$  – коефіцієнти в'язкого тертя, що діють на елементи гідроциліндра 7 та клапана 11;  $\rho$  – густина робочої рідини;  $\mu$  – коефіцієнт витрати;  $\beta$  – коефіцієнт, що враховує сумарну деформацію робочої рідини та гумометалевих рукавів;  $f_{x0}(t)$  – функція керуючого вхідного сигналу, що задається контролером для розподільника 10;  $y(t)$  – залежність координати переміщення штока гідроциліндра від часу;  $f_y(t)$  – залежність координати переміщення штока гідроциліндра від часу, яка має бути отримана;  $\Delta$  – різниця між бажаними та реальними координатами переміщення штока гідроциліндра від часу;  $k$  – коефіцієнт підсилення.

Електрогідравлічна система керування, блок-схема якої наведена на рис. 2, працює наступним чином. Для забезпечення певного закону руху  $f_{y0}(t)$  робочого органу до керуючих електромагнітів електрогідравлічного розподільника ЕГР подається певний сигнал керування, що формує залежність переміщення його основного золотника  $f_{x0}(t) = k_I \cdot f_{y0}(t)$ , з певним перетворюючим коефіцієнтом  $k_I$ . Відхилення  $\Delta$  закону гідроциліндра ГЦ  $y(t)$  з робочим органом від заданого  $f_{y0}(t)$  фіксується датчиком переміщення ДП, та, з певним коефіцієнтом підсилення  $k$ , надходить до системи керування, яка корегує залежність переміщення основного золотника електрогідравлічного розподільника в сигнал  $x(t)$ .

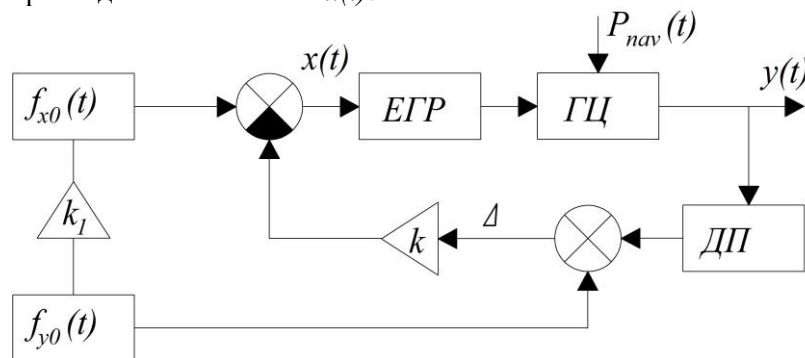


Рис. 2 – Структурна схема електрогідравлічної системи керування

Розв'язок системи рівнянь виконано за допомогою пакету MatLAB Simulink [6].

Проаналізувавши та порівнявши перехідні процеси можна побачити, що застосування електрогідравлічної системи керування не має негативного впливу на перехідні процеси (рис. 3), проте супроводжується зменшенням коливань руху робочого органу  $y$ .

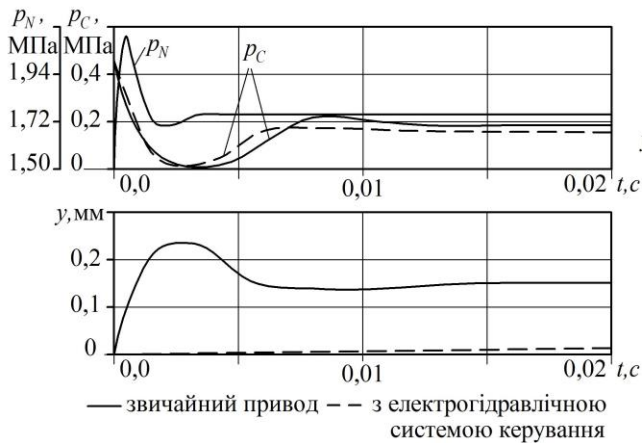


Рис. 3 – Залежності зміни тисків та переміщення робочого органу від часу для звичайного приводу та з електрогідравлічною системою керування

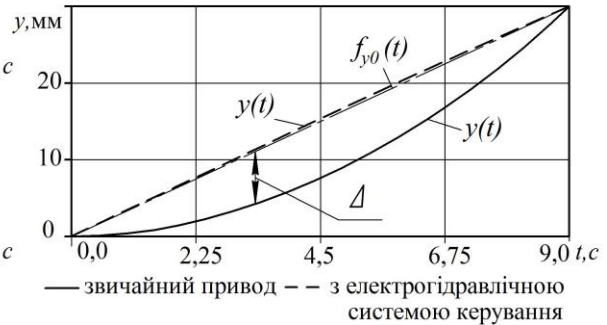


Рис. 4 – Відхилення залежності переміщення робочого органу від часу  $y(t)$  від заданого  $f_{y0}(t)$  для звичайного приводу та з електрогідравлічною системою керування

Основною перевагою застосування електрогідравлічної системи керування є забезпечення мінімізації відхилення закону переміщення робочого органу від бажаного, навіть на початкових стадіях роботи системи до моменту усталеного режиму роботи (рис. 3, 4).

Отже, розроблений гідравлічний привод з електрогідравлічної системи керування дозволяє забезпечити досить високу відповідність залежності руху робочого органу від часу (в нашому випадку відхилення не перевищувало 0,002мм), що дозволяє чітко виконувати формоутворюючі рухи інструменту по траєкторіях різного виду, забезпечуючи якісний процес локального циклічного деформування плоскої або порожнистої заготовки, що обертається, деформуючим інструментом у вигляді одного або декількох роликів.

Список літературних джерел:

1. Могильный Н. И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках / Могильный Н. И. – М. : Машиностроение, 1983. – 190 с.
2. Дудка Д. В. Ротационное формоизменение конических деталей из анизотропных материалов / Д. В. Дудка, С. С. Яковлев. – Тула: Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.3, 2010. – С. 3 – 11. ISSN 2071-6168.
3. Конский А.П. Ротационная многопроходная вытяжка оболочковых изделий [Электронный ресурс] / Конский А.П., Плахотник В.А., Бурлаков Е.И., Сыстєрова А.Ф. – Луганськ: Суну ім. В. Даля, 2011. – Вып. 2. – С. 5 – Режим доступу: [http://www.nbu.gov.ua/portal/soc\\_gum/vsunu/2011\\_2\\_2/Konskij.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/soc_gum/vsunu/2011_2_2/Konskij.pdf).
4. Лозінський Д.О. Ротационна витяжка осесиметричних деталей з використанням пропорційного електрогідравлічного приводу / Д.О. Лозінський, І.О. Сивак, Є.І. Шевчук, В.Г. Пилявець // Вісник хмельницького національного університету. – 2015. - №4. – С. 21-24.
5. Лозінський Д.О. Пропорційний електрогідравлічний розподільник з незалежним керуванням потоків для мобільних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Машинознавство” / Д.О. Лозінський. – Вінниця, 2010. – 20 с.
6. Черных И. В. Simulink: среда создания инженерных приложений / И. В. Черных. – Диалог-МИФИ, 2004. – 496 с.



**М.Я.Николайчук к.т.н., доцент; І.Т.Левицький ассистент;  
О.Л.Заміховська кт.н., доцент**

## **WEB-ОРІЄНТОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ВИТРАТИ ВОДИ ПІДПРИЄМСТВ КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА**

Ключові слова: диспетчеризація комунальних підприємств, WEB-орієнтована система контролю, виміювання витрати води, перетворювач з імпульсним виходом, програмований логічний контролер, програма стандарту IEC 61131-3, GSM-комунікація, SCADA-система.

Наведено результати розробки та апробації автоматизованої системи контролю витратомірних параметрів на базі підприємства комунального господарства. Запропоновано функціональні, алгоритмічні і програмні рішення для побудови WEB-орієнтованої системи контролю витрати води.

Система призначена для віддаленого контролю витратомірних параметрів на основі витратомірів з імпульсним частотно-маніпульованим виходом.

До складу системи контролю входять наступні компоненти:

- робоча станція на базі IBM-PC;
- промисловий IRZ-router [1] стандарту GSM для безпроводного зв'язку;
- програмований логічний контролер (ПЛК) «Siemens» Simatic S7-1200 [2];
- комунікаційне обладнання (кабелі, роз'єми);
- програмне забезпечення верхнього рівня – SCADA-система WinCC.

Система розроблена у вигляді апаратно-програмного комплексу з розподіленою архітектурою і оптимізована для роботи з віддаленими технологічними об'єктами і центральним диспетчерським пунктом. Відповідно до технічного завдання, система здатна виконувати будь-які задачі зі збору, первинної обробки, передачі та зберігання технологічних параметрів, а також задачі автоматичного чи диспетчерського керування виконавчими пристроями технологічних об'єктів.

Комунікаційна мережа побудована на основі VPN (Virtual Private Network) стандарту GSM, що забезпечує доступ до технологічного обладнання практично на всій території України і захищеність від несанкціонованого доступу.

Для контролера і робочої станції розроблено прикладне програмне забезпечення. Діалог диспетчера з системою реалізований у формі мнемосхем в SCADA-системі. Забезпечено архівування та документування витратомірних параметрів (поточна витрата, витрата за годину, витрата за добу, а при необхідності і інших інтервалів часу).

Частина обладнання розміщена в диспетчерській комунального підприємства, інша частина безпосередньо на технологічному об'єкті. На рис. 1 наведено функціональну схему автоматизованої системи контролю витратомірних параметрів.

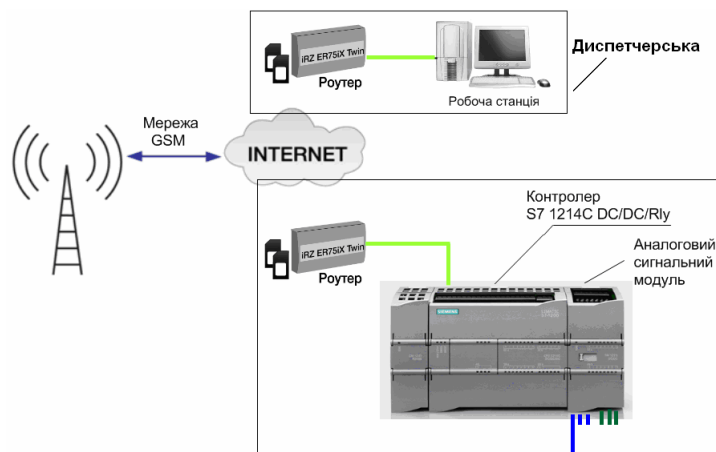


Рис. 1 - Функціональна схема автоматизованої системи контролю витратомірних параметрів

В приміщенні центральної диспетчерської встановлюється робоча станція диспетчера, який забезпечує контроль витратомірних параметрів (витрата води) віддалених об'єктів (рис. 2).

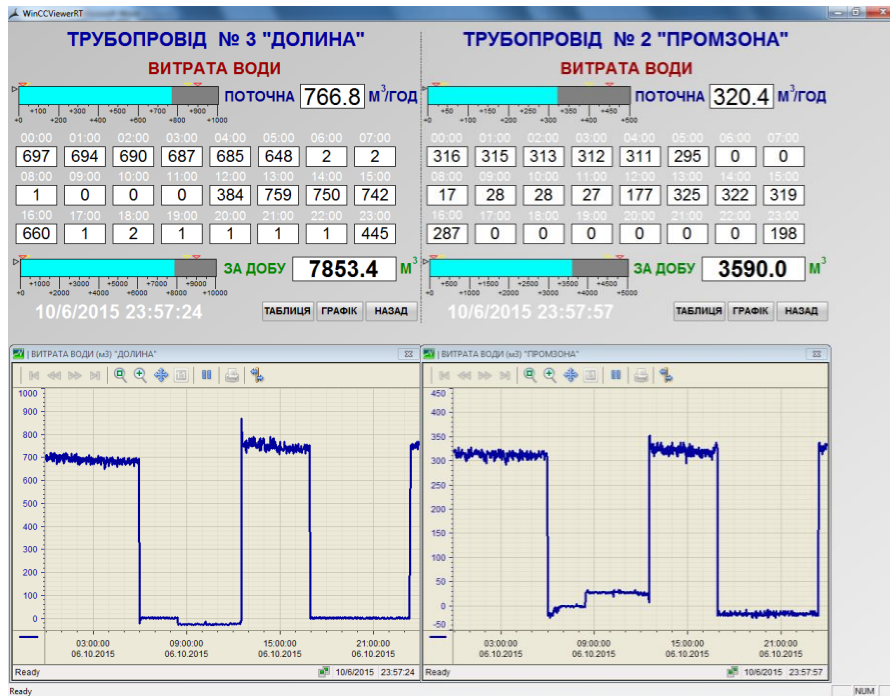


Рис. 2 - Мнемосхема системи контролю витрати води і графік зміни технологічного параметру в часі

На рис. 3 наведено мнемосхему в розширеному режимі з відображенням у цифровому та графічному виді поточної, погодинної і добової витрати за 06.10.2015 року, виконану в SCADA-системі «WinCC V7.2».

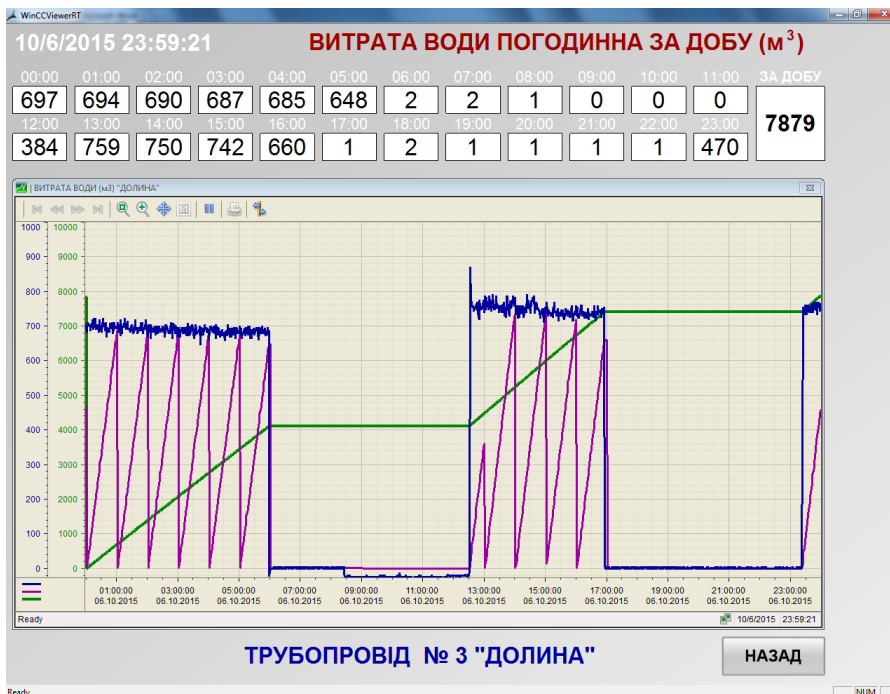


Рис. 3 – Мнемосхема автоматизованої системи контролю витрати води в розширеному режимі з відображенням у цифровому та графічному виді поточної, погодинної і добової витрати

Дискретність інтервалу передачі даних на центральну диспетчерську може складати від 5-ти с. Крім того, використовуючи інструменти масштабування, диспетчер може уточнювати контрольовані параметри та інтервали часу.

За рахунок своєї модульності та уніфікованості, система може бути розширена чи модернізована, а також оптимізована для роботи з різними типами датчиків.

Для реалізації функцій контролю авторами розроблено алгоритм і прикладну програму в середовищі «TIA\_Portal\_V13\_SP1» [3] на мові FBD стандарту IEC 61131-3 [4] (рис. 4).



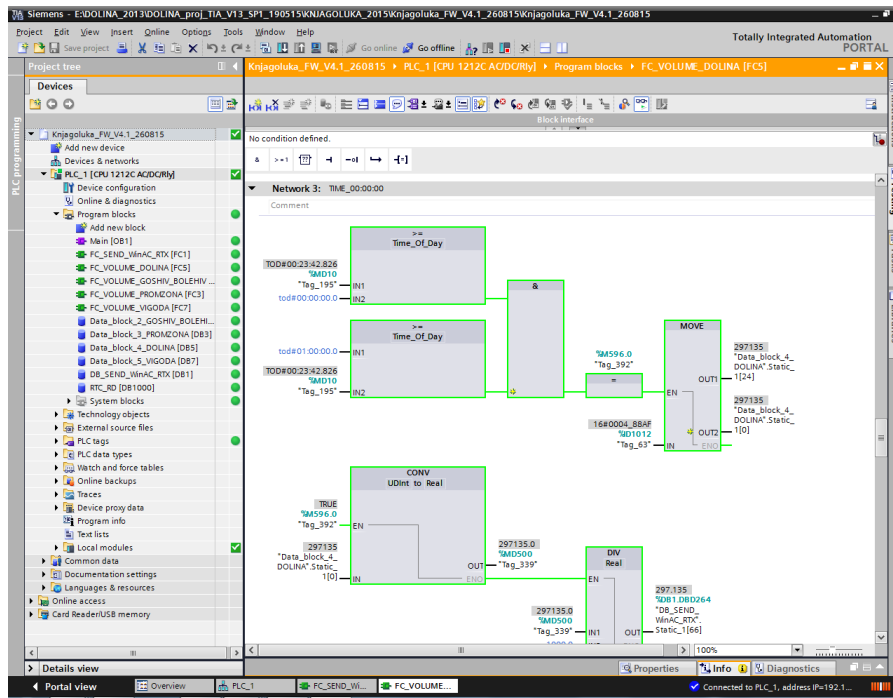


Рис. 4 – Фрагмент програми обробки витратомірних параметрів в режимі «on-line»

В системі передбачено можливість контролю додаткових технологічних параметрів (тиск, рівень, температура та інш.), а також керування виконавчими механізмами (електроприводні насоси, електроприводна запірна арматура, підсистеми освітлення, сигналізації та інш.) [5].

Список літературних джерел:

1. ER75iX Twin EDGE/GPRS Router Руководство пользователя. Последнее изменение: 2010-04-06 – 61с.
2. SIEMENS SIMATIC S7-1200 Programmable controller System Manual – 04/2012 – 864 с. A5E02486680-06.
3. Николайчук М.Я. Проектування і дослідження WEB-орієнтованих систем управління об'єктами нафтогазового комплексу на базі комплексного програмного пакету TIA Portal V11 «Siemens» // Реферативний збірник наукових праць міжнародної міжвузівської школи-семінару «Методи і засоби діагностики в техніці і соціумі» (МіЗД ТС-2011). – ПВНЗ «Галицька Академія», Івано-Франківськ. - 2011. - с. 17.
4. Ганс Бергер. Автоматизация с помощью программ STEP 7 LAD и FBD. Программируемые контроллеры SIMATIC S7-300/400 Издание 2-е переработанное, 2001.
5. Заміховський Л.М., Николайчук М.Я., Левицький І.Т. Автоматизована система управління водозабезпеченням Долинського району. Інтелектуальний продукт вчених і винахідників Прикарпаття, 2013. Щорічний каталог найвагоміших винаходів, корисних моделей, промислових зразків і раціоналізаторських пропозицій. Довід. вид. Редакційна колегія: Б.І.Середюк, Л.М.Шляхтич, Т.В.Тиховська, В.М.Когуч. – Івано-Франківськ, 2014. - С. 19-22.

**Л.М. Заміховський, д.т.н., проф.; В.В. Павлик, здобувач**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАМЕТРІВ ГПА ГТК - 25і**

Ключові слова: технічний стан, технологічні параметри, статистичні характеристики, обробка експериментальних даних, закон розподілу

Сьогодні на магістральному газопроводі "Уренгой-Помари-Ужгород" знаходяться в експлуатації більше 150 ГПА ГТК - 25і фірми Нуово-Піньон (Італія) 50% яких відпрацювало встановлений моторесурс або близькі до цього. У зв'язку з цим актуальною є задача діагностичного забезпечення надійної та ефективної експлуатації ГПА ГТК 25і.

З метою розробки діагностичного забезпечення ГТК 25і був проведений його аналіз з точки зору об'єкту діагностування, який показав, що технічний стан ГТК 25і характеризується рядом параметрів, контроль частини з яких передбачений виробником: температура повітря на вході-виході осьового компресора (ОК); контроль вібрації підшипника №1; контроль температури масла змащування на зливні з підшипника №1; контроль обертів валу ОК; розрідження повітря на вході ОК.

В той же час практика експлуатації ГПА ГТК -25і показала, що наявних засобів контролю недостатньо для розробки методів та організації системи його діагностування. В [1] запропоновано для оцінки технічного стану ОК використовувати характеристики віброакустичних процесів, генеруємих проточною частиною ОК.

Таким чином, процес транспортування газу ГТК -25і, який обумовлює його технічний стан, є достатньо складним, стохастичним і залежним від багатьох факторів. Детермінований підхід до аналізу властивостей процесу транспортування газу, який характеризується вищевказаними параметрами, з точки зору вибору інформативних параметрів як діагностичних ознак технічного стану ГТК -25і, не дає необхідного ефекту, тому найбільш доцільним є використання статистичного методу.

В той же час коректність, а також інтерпретація результатів аналізу в значній мірі залежать від основних властивостей процесу, який аналізується. До таких властивостей відносяться, перш за все, нормальність процесу, його стаціонарність і ергодичність – стан при якому середні за часом значення фізичних величин, що характеризують консервативну систему, рівні середнім статистичним. При цьому для перевірки ергодичності системи достатньо обчислити відсоток відхилення заданого показника від його середнього значення і у випадку його знаходження в межах 3-5%, можна вважати даний процес ергодичним і стаціонарним.

Була проведена оцінка вказаних властивостей процесу транспортування газу з використанням результатів промислових досліджень, отриманих при експлуатації ГПА ГТК 25і. Для отримання експериментальних даних використовували систему контролю наведену в [2]. Обробку отриманих експериментальних даних проводили на ПК з використанням програмних продуктів MathCad 13.0 та SPSS 10.0, які є найбільш поширеними при обробці статистичної інформації.

Оцінку статистичних характеристик вказаних вище контрольованих параметрів ГПА ГТК 25і проводили на основі обробки діаграм їх зміни в часі  $t$ .

Для виявлення закону розподілу параметрів використовували вибірку об'ємом  $n = 800$  значень на ділянці стаціонарності з кроком дискретизації  $\Delta t = 50$ с, а для виявлення закону розподілу віброакустичних процесів, які характеризують стан проточної частини ОК використовували вибірку об'ємом  $n = 2000$  значень на ділянці стаціонарності з кроком дискретизації  $\Delta t = 5$ с.

В роботі наводиться методика вибору кроку дискретизації і довжини реалізації по кожному з досліджуваних параметрів. Із сукупності значень по кожному з досліджуваних параметрів після перевірки однорідності знаходили найменші та найбільші їх значення після чого проміжок між ними розділяли на рівні інтервали  $h$ , довжину яких визначали, користуючись формулою Стерджеса. Після встановлення шкали інтервалів і групування результатів вимірювання отримали дані для побудови гістограми. В роботі проводиться аналіз отриманих гістограм. Так, перевірка на відповідність реальної гістограми нормальному закону розподілу проводилася з використанням

тесту Колмогорова-Смірнова, основою якого є розрахунок максимальної різниці між кумулятивними частотами обох вибірок –  $z$ , на підставі якої визначається вірогідність помилки  $p$ .

Для підтвердження нормального закону розподілу досліджуваного параметра використовували також діаграму нормального розподілу, за якою візуально можна визначити, чи достатньо близько заданий розподіл наближається до нормального, так як кожне експериментально отримане значення досліджуваного параметра порівнюється із значенням, очікуваним при нормальному його розподілі. При цьому по осі  $X$  відкладаються експериментально отримані значення, а на осі  $Y$  – очікувані при нормальному законі розподілу і всі значення піддаються стандартизації. Реалізація випадкового процесу досліджуваних параметрів перевірялася на стаціонарність за тестом стаціонарності згідно з гіпотезою про стаціонарність. За результатами експериментальних даних визначалася оцінка автокореляційної функції. В роботі наводяться графіки оцінки отриманих автокореляційних функцій.

Виходячи з виконання достатньої умови ергодичності стаціонарного випадкового процесу за математичним сподіванням  $\lim_{k \rightarrow \infty} R_{xx}(k\Delta t) = 0$ , було встановлено, що досліджувані процеси є ергодичними і практично відсутня зміна автокореляційних функцій в різних експериментах.

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. Павлик В.В. Напрямки підвищення ефективності експлуатації газоперекачувальних агрегатів в умовах Богородчанського ЛВУМГ [Текст] / В.В.Павлик // Наукові вісті Галицької академії.– Вип. 2(22).– Івано-Франківськ, 2012.–С.44-49

**Л.М. Заміховський, д.т.н., проф.; Н.І. Іванюк, асистент**

## **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНОГО СТАНУ ЛОПАТЕВОГО АПАРАТУ ГПА-Ц-16С**

Ключові слова: Вібраційний стан, лопатевий апарат, експериментальні дослідження, частотний спектр.

Сьогодні більшість методів діагностування стану лопатевого апарату ГПА передбачають його зупинку з подальшим використанням ендоскопів та методів неруйнівного контролю - магнітопорошкової діагностики, кольорової дефектоскопії, які спрямовані на пошук і виявлення вже розвинених тріщин і інших дефектів, що є недостатнім для забезпечення надійності лопатевого апарату ГПА. Цим можна пояснити значний відсоток дефектів, який припадає на частку лопатевого апарату ГПА в процесі експлуатації. Останнє вимагає застосування методів і технічних засобів його діагностування. На даний час найбільш перспективними є методи віброакустичної діагностики машин і механізмів для визначення технічного стану лопатевого апарату ГПА. Незважаючи на значну кількість наведених в літературних джерелах та запатентованих методів діагностування лопатевих апаратів ГПА різного призначення, сьогодні відсутні загальноприйняті методи для їх широкого промислового використання, зокрема для ГПА-Ц-16С, що вказує на актуальність поставленої задачі.

В [1] розглядається методика експериментального дослідження вібраційного стану ГПА-Ц-16С, яка дозволяє оперативно проводити експерименти по дослідженню не тільки вібраційного стану лопатей відцентрового напрямного апарату (ВНА), а й лопатевого апарату осьових компресорів низького (КНТ) і високого тисків (КВТ), турбін високого (ТВТ) і низького (ТНТ) тисків, силової турбіни нагнітача (СТН), а також проводити початкову обробку отриманих вібраційних сигналів в режимі реального часу, що дозволяє скоригувати програму проведення експериментів.

В даній роботі наводяться результати експериментальних досліджень вібраційного стану ГПА-Ц-16С, які були проведені з використанням вказаної методики.

Враховуючи, що ГПА-Ц-16С є трьохвальним агрегатом, був проведений аналіз рівнів амплітуди вібрації на частотах, пов'язаних з частотою обертання ротора КНТ і зв'язаного з ним ВНА та ТНТ, частотою обертання ротора КВТ та зв'язаної з ним ТВТ, а також частотою обертання ротора СТН. Вихідними даними для розрахунку була інформація про кількість лопатей на всіх ступенях КНТ, ВНА, ТНТ, лопатей КВТ і ТВТ, а також лопатей СТН.

В роботі наводяться формули розрахунку та орієнтовні значення частот, визначених при частотах обертання, обумовлених програмою експериментів:

$n_1=3131$  об/хв.;  $n_2=3197$  об/хв.;  $n_3=5476$  об/хв.;  $n_4=5509$  об/хв.;  $n_5=5885$  об/хв.;  
 $n_6=5986$  об/хв.;  $n_7=6235$  об/хв.;  $n_8=6259$  об/хв.;  $n_9=6465$  об/хв.;  $n_{10}=6587$  об/хв.

Отримані в результаті експериментів віброграми підлягали подальшій обробці для побудови частотного спектру. Для оцінки динамічних властивостей спектру будували частотно-часове представлення вібраційних сигналів для кожного з вузлів ГПА отриманих під час експериментів за допомогою короткочасового перетворення Фур'є (STFT) з довжиною вікна 2048 відліків та функцією вікна Блекмена-Харріса, для чого використовували програму AdobeAudition.

Для визначення групи власних частот будували спектри вібраційних сигналів записаних на кожній з частот обертання трьох валів згідно програми експериментів при усталеному режимі (3-5 хвилин). Для побудови спектру було використано метод Уелча, що передбачає усереднення спектрів для послідовних інтервалів часу, які перекриваються, із зважуванням на кожному інтервалі за допомогою функції вікна (довжину вікна прийнято 65536, коефіцієнт перекриття 0.95). За рахунок інтегрування спектру в часі, що застосовується у методі Уелча, рівень складових, які мають постійну частоту на протязі інтервалу інтегрування, підсилюється, а рівень складових, частота яких змінюється в часі, зменшується.

В роботі наводяться спектри вібраційних сигналів, виміряних на ВНА ГПА Ц-16С для встановлених режимів на різних частотах трьох роторів ГПА.

В результаті проведеного аналізу спектрів вібрації було встановлено, що дійсні частоти обертання ротора КНТ, ТНТ, і ротора КВТ, ТВТ та ротора СТН різняться від номінальної на

величину порядку 20...70 об/хв., що спричиняє відхилення лопаткових частот та їх гармонік від розрахованих значень. Це вимагає при визначенні рівнів амплітуди вібрації на характерних частотах врахування частот обертання на момент вимірювання. Враховуючи, що навіть у встановленому режимі відбуваються короточасні флуктуації частоти обертання, які зумовлені реакцією системи керування ГПА на зміни режиму та призводять до зміщення характерних частот, для подальшого аналізу з кожного із сигналів було виділено від 7 до 15 фрагментів (в залежності від довжини записаного сигналу) тривалістю близько 3 хв. із відносно стабільною частотою обертання та без короточасних порушень стаціонарного характеру спектру.

Значення рівнів амплітуди на характерних частотах визначались як середнє арифметичне значення для вибраної кількості фрагментів сигналу. Для прикладу на рис.1 наведені спектри вібрації ТНТ на різних частотах її обертання

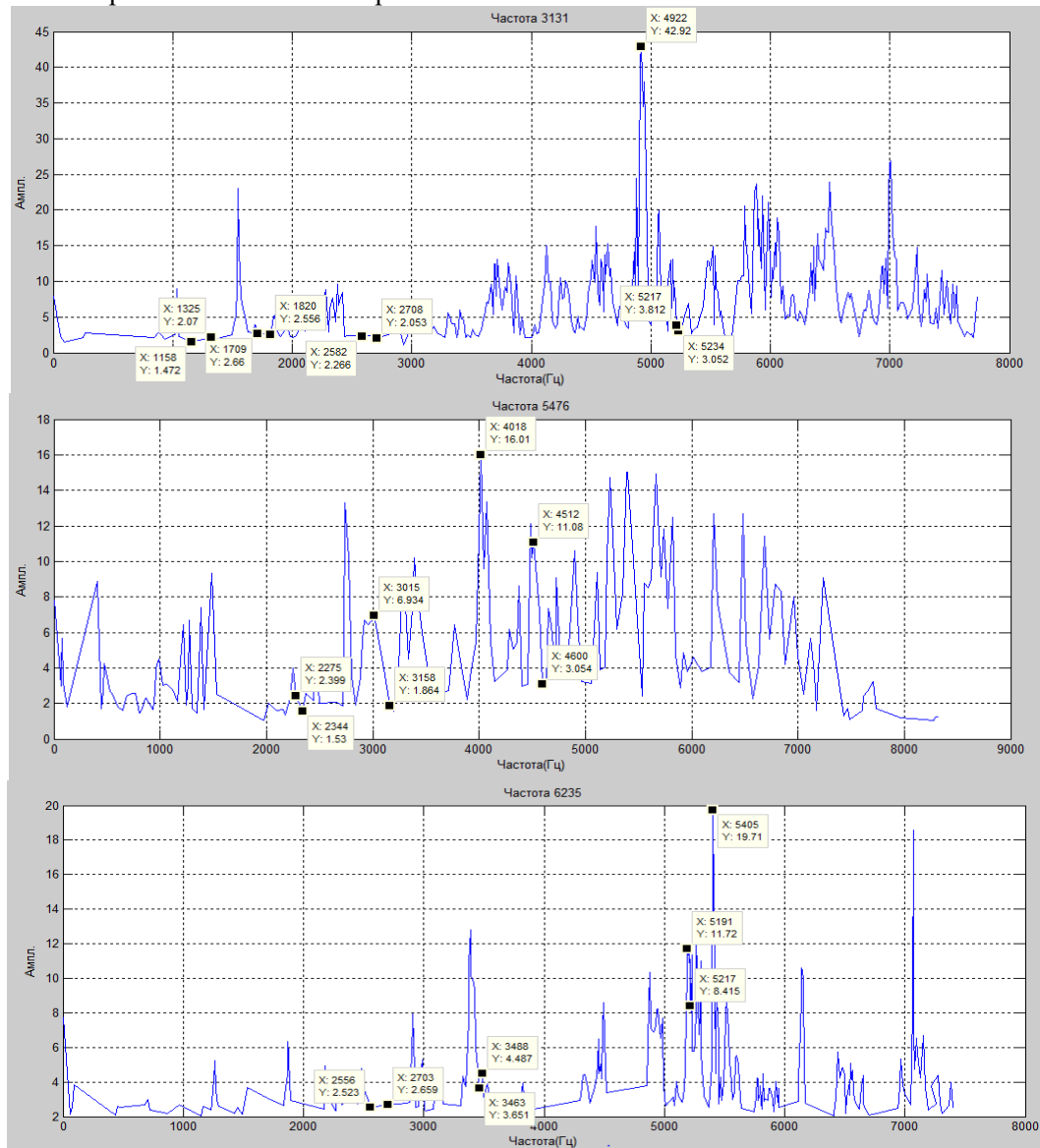


Рис. 1- Спектри вібрації ТНТ на різних частотах її обертання

Проведений детальний аналіз спектрів з врахуванням кінематики ГПА показав, що для подальших досліджень доцільно вибирати частоти обертання ротора КНТ і ТНТ, ротора КВТ і ТВТ, а також ротора СТН та перші п'ять її гармонік, а також лопаткові частоти і перші три їх гармоніки.

Список літературних джерел:

1. Замиховский Л.М. Методика экспериментальных исследований вибрационного состояния газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-16С [Текст] / Л.М. Замиховский, Н.И. Иванюк // Молодой ученый. – 2015. – №2(82). – С. 150-154.

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФІТОКЛІМАТУ В ТЕПЛИЦІ**

Ключові слова: Автоматизована система, фітоклімат, автоматизація,

Основною метою фітоклімату створення такої системи є необхідність з деякою періодичністю і високою точністю визначати параметри фітоклімату рослин та з врахуванням зміни параметрів. Фітоклімат - мікроклімат рослинного покриву і кореневого шару ґрунту. Здійснювати управління фітокліматом, забезпечувати зберігання отриманих даних для подальшої обробки і прогнозування.

До фітокліматичних параметрів відносять: концентрацію вуглекислого газу, температуру та вологість повітря, температуру та вологість ґрунту. Ці параметри мають безпосередній вплив на розвиток рослини і тому утримання в межах оптимальних значень має дуже велике значення як для розвитку рослин так і для подальшої врожайності всієї теплиці.

В сучасних тепличних господарствах України використовується стаціонарні системи контролю мікроклімату, які складаються з закріплених в певних точках теплиці датчиків, промислового комп'ютера що обробляє отриману інформацію та створює управляючу дію на системи контролю опалення і вологості.

Системи опалення представляють собою парове трубне опалення на підлозі теплиці та вентилятори біля стелі для циркуляції повітря. При цьому згідно отриманих експериментально даних температурні поля теплиці не є рівномірними, в деяких точках є значні пониження температури, що негативно впливають на розвиток та дозрівання рослин. Недоліками стаціонарної системи є значна похибка показів в деяких точках теплиці та неможливість регулювати окремі зони температури внаслідок використання даної системи опалення.

За допомогою безпроводної системи збору даних отримана інформація синхронізується з промисловим комп'ютером, де оброблюється програмою керування згідно зональним розташуванням і якщо в певній зоні виникає небезпечне відхилення то створюється управляюча дія, що направлена саме на небезпечну зону, а не на всю теплицю в цілому. Це реалізує розподілена система опалення.

Модернізація існуючої системи полягає в наступному: на кожний нагрівний елемент системи опалення рослин встановлюється керуючий диференційний клапан на який йде сигнал безпосередньо з промислового комп'ютера. Це дозволить, хоча і з великою інерційністю, але впливати на невеликі площі теплиці. Крім того вентилятори циркуляції повітря теж підключаються до нової системи керування та сприяють як найскорішому виходу на оптимальні значення параметрів температури.

**Висновок:** Точне вимірювання фітокліматичних параметрів дозволить створити комфортні умови для розвитку рослин та дозрівання плодів, а також велика кількість датчиків збільшить ефективність і продуктивність теплиці.

**Література:**

1. Третьяков Н.Н. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Третьяков Н.Н., Кошкин Е.И., Макрушин Н.М. — М.: Колос 1998. — 640 с.
2. Гіль Л.Г. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту. Ч.1. / Гіль Л.Г., Пашковський А.І., Суліма Л.Т. — Вінниця: Нова книга, 2008. — 368 с.

# **ПЛЕНАРНІ ДОПОВІДІ**

Бісикало О.В., д.т.н., проф.; Биков М.М., к.т.н., проф.; Кривогубченко С.Г., к.т.н., доц.;  
Кулик Я.А., к.т.н., асистент; Кучерук В.Ю., д.т.н., проф.; Папінов В.М., к.т.н., доц.

## БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ УЧБОВИЙ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС ЗАСОБІВ ПРОМИСЛОВОЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ

Ключові слова: комп'ютеризований комплекс, навчальна дисципліна, лабораторне заняття, мікропроцесорна техніка, контролер, програмоване реле

3 вересня 2015 року у міжкафедральній лабораторії промислової мікропроцесорної техніки факультету комп'ютерних систем та автоматики (ФКСА) ВНТУ почалась дослідна експлуатація першої черги багатофункціонального учбового комп'ютеризованого комплексу. Усе промислове обладнання для цієї лабораторії було безкоштовно надано компанією "СВ АЛЬТЕРА" (м. Київ, Україна) в рамках акції підтримки вітчизняних технічних вузів [1]. Комплекс призначений для технічного забезпечення навчального процесу підготовки фахівців усіх напрямів та спеціальностей факультету. Повна конфігурація комплексу наведена на рис. 1.

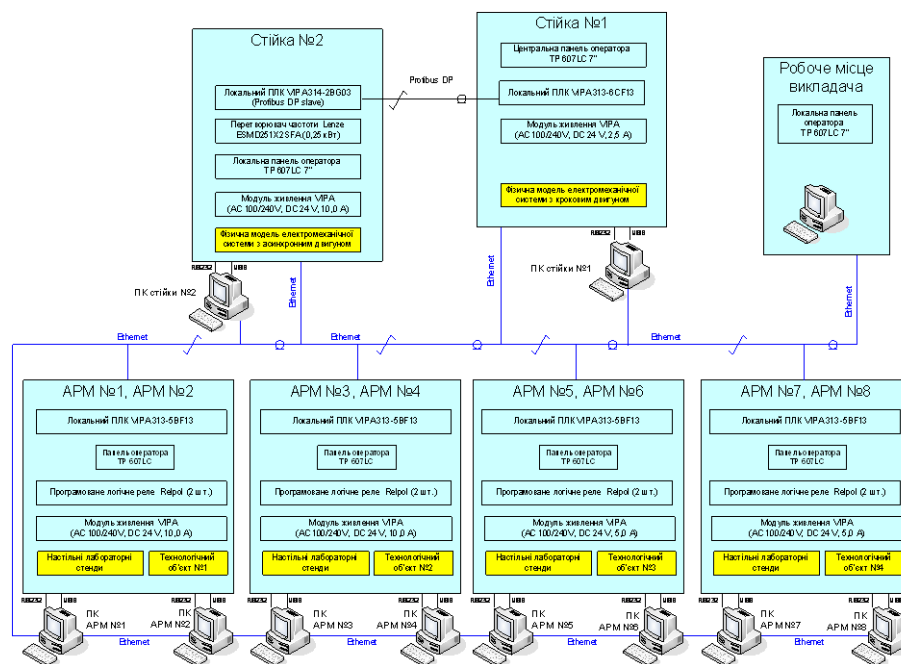


Рис. 1

Лабораторія оснащена чотирма універсальними лабораторними столами з автоматизованими робочими місцями (АРМ1-АРМ8) студентських бригад (по два АРМ на один стіл) та двома спеціалізованими стійками (№1 та №2). Усі універсальні лабораторні столи мають однакову комплектацію для забезпечення проведення лабораторних та практичних занять фронтальним методом, а саме, двома персональними комп'ютерами (ПК), одним локальним ПЛК "VPA 313-5BF13", одною панеллю оператора "TP 607LC", двома програмованими реле "Relpol", модулем живлення (24 В) та некерованим комутатором Ethernet на 5 каналів. Для кожної студентської бригади виготовляються настільні тематичні лабораторні стенди, які за вибором студентів підключаються або до входів-виходів ПЛК, або до входів-виходів програмованого реле (в залежності від тематики заняття). Біля кожного універсального лабораторного столу змонтований один технологічний об'єкт, який є фізичною моделлю реального технологічного або технічного об'єкту: 3-ємнісного накопичувача рідини ("Технологічний об'єкт №1"), хімічного реактора ("Технологічний об'єкт №2"), ліфта 6-поверхового будинку ("Технологічний об'єкт №3") та лазерної системи сканування ("Технологічний об'єкт №4").

Для побудови систем управління цими технологічними об'єктами встановлені різноманітні промислові датчики та виконавчі пристрої:



- датчик та сигналізатори рівня, датчик витрат, електромагнітні клапани та електронасос ("Технологічний об'єкт №1");
- датчик температури, сигналізатор рівня, термоелектричний нагрівач та електродвигун змішувача ("Технологічний об'єкт №2");
- оптоелектричні шляхові вимикачі та імпульсні датчики кута обертання, асинхронний виконавчий двигун та частотний перетворювач ("Технологічний об'єкт №3");
- оптоелектричні імпульсні датчики кута обертання, виконавчий механізм з асинхронним двигуном та фотодіодна матриця ("Технологічний об'єкт №4").

Основним програмним забезпеченням ПК лабораторних столів є пакет програмування ПЛК "WinPLC", SCADA "Movicon 11" та інструментальний засіб програмування реле "PC NEED".

На спеціалізованій стійці №1 встановлена центральна панель оператора "TP 607LC 7" та фізична модель електромеханічної системи з кроковим двигуном. На спеціалізованій стійці №2 змонтований локальний ПЛК "VIPA 314-2BG03" ("Profibus DP slave") та фізична модель електромеханічної системи з асинхронним двигуном.

Усе обладнання лабораторії за рахунок локальної мережі Ethernet та польової шини Profibus утворює багаторівневу інформаційну систему, яка сама по собі може бути об'єктом окремого навчального дослідження.

Робоче місце викладача комп'ютеризованого комплексу утворюється окремим ПК та локальною панеллю оператора "TP 607LC 7", через які викладач може спостерігати за ходом виконання лабораторних чи практичних завдань на кожному універсальному лабораторному столі, а також надсилати у електронному вигляді на ПК студентів усі необхідні методичні матеріали, наприклад, демонструвати пояснення поточної навчальної теми у вигляді презентації Power Point.

При дослідженні багаторівневої інформаційної системи робоче місце викладача може відігравати роль робочого місця головного диспетчера (оператора) системи, а його ПК - роль глобального сервера системи.

Обладнання багатofункціонального учбового комп'ютеризованого комплексу дозволяє організовувати лабораторні та практичні заняття з різних спеціальних та професійно-орієнтованих дисциплін факультету.

В доповіді в якості прикладу такої універсальності комплексу розглядається низка нових навчальних засобів, розроблених на його основі, які повинні використовуватися протягом навчання студентів спеціальності "Комп'ютеризовані системи управління та автоматика" для забезпечення якісного освоєння ними сучасних засобів промислової мікропроцесорної техніки. На рис. 2 показана схема цього навчального процесу.

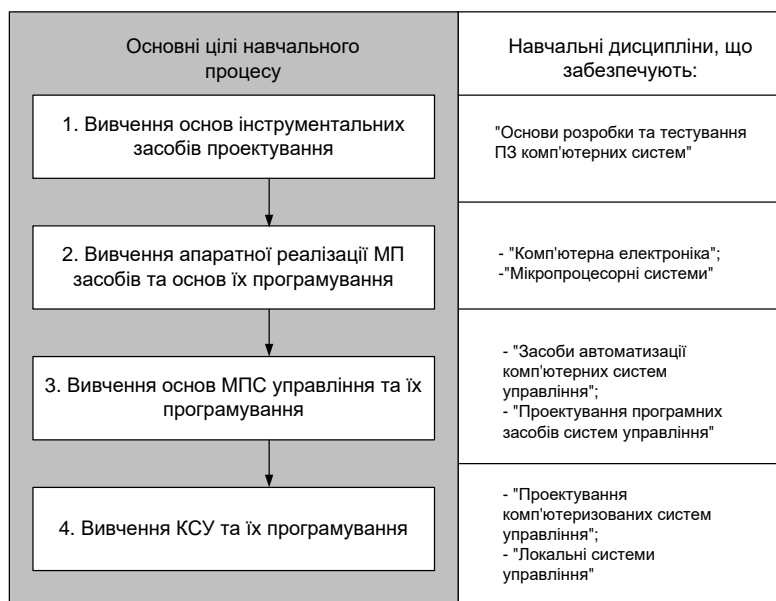


Рис. 2

Як видно зі схеми, навчальний матеріал вивчається поступово – від основ побудови засобів мікропроцесорної техніки та їх програмування (рівень складності 1) до створення на їх основі мікропроцесорних (МПС) та комп'ютеризованих (КСУ) систем управління (рівні складності 3 та 4). Освоєння студентами відповідних теоретичних знань обов'язково супроводжується формуванням їх професійно-орієнтованих умінь та навичок під час лабораторних та практичних занять. Ступінь складності таких занять зростає по мірі ускладнення теоретичного матеріалу, що надається тією чи іншою учбовою дисципліною. У зв'язку з цим, схема навчального процесу студентського практикуму теж змінюється при переході від дисциплін молодших курсів до дисциплін старших курсів.

На рис. 3а показана конфігурація навчального засобу для практичного вивчення сигнальних інтерфейсів контролера VIPA та програмованого реле Relpol (рівень складності 2), а на рис. 3б – конструктивне виконання його настільного спеціалізованого стенду.

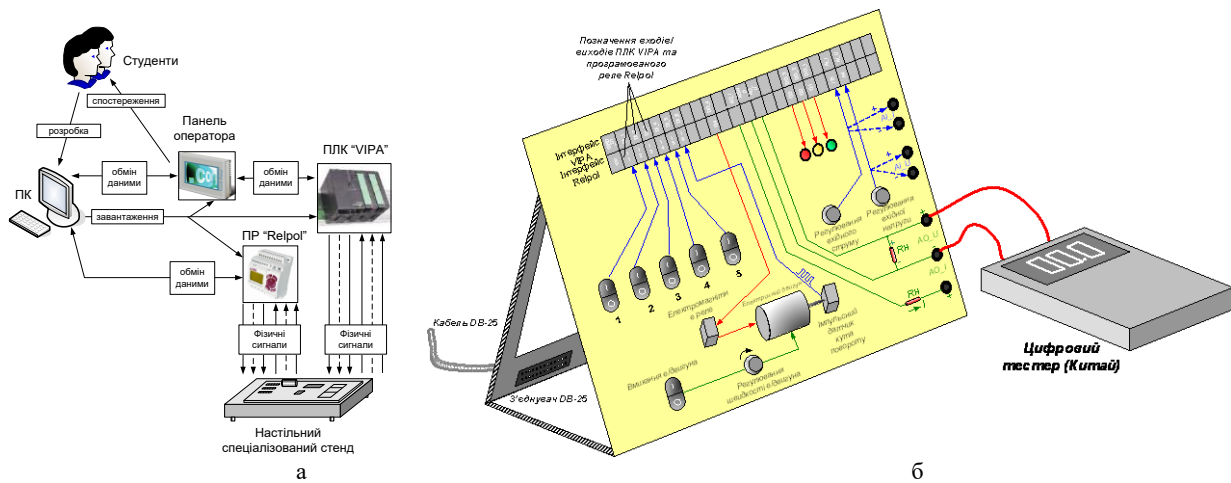


Рис. 3

На рис. 4а показана загальна конфігурація навчального засобу для практичного вивчення мікропроцесорної системи управління світлофорами перехрестя доріг (рівень складності 3), а на рис. 4б – конструктивне виконання його настільного спеціалізованого стенду.

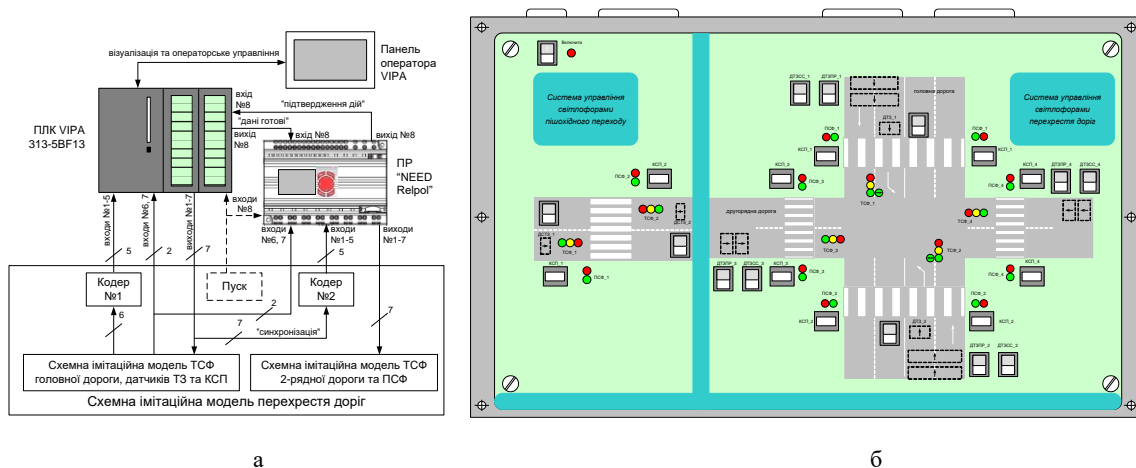


Рис. 4

В доповіді розглядаються також навчальні засоби для практичного вивчення комп'ютеризованих систем управління (рівень складності 4), які побудовані на основі технологічних об'єктів учбового комп'ютеризованого комплексу.

Список використаних джерел

1. Офіційний сайт компанії "СВ АЛЬТЕРА" в Україні [Електронний ресурс]. - Режим доступу : [www.svaltera.ua](http://www.svaltera.ua).

П.І.Кулаков, к.т.н., доц.

## ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ БІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДОЇННЯ

Ключові слова: біотехнічна система доїння, вимірювальний контроль, зоотехнічні параметри тварин, доїльне обладнання.

Найбільш відповідальним у технології виробництва молока є процес взаємодії людини, молочних тварин та доїльних машин, за допомогою якого забезпечується отримання кінцевого продукту. Цей процес уявляє собою біотехнічну систему доїння, до складу якої входить людина, доїльна машина та тварина [1]. У біотехнічній системі доїння технічні і технологічні ланки вступають у пряму взаємодію з біологічними об'єктами. Інформаційно-вимірювальні системи контролю параметрів біотехнічної системи доїння є невід'ємною складовою сучасних систем управління тваринницькими фермами, покращення їх технічних характеристик є важливим та актуальним завданням. В процесі проведених досліджень запропоновано класифікацію інформаційно-вимірювальних систем для доїльно-молочних відділень тваринницьких ферм, проведено аналіз контрольованих параметрів біотехнічної системи доїння та запропоновано узагальнену структурну схему інформаційно-вимірювальної системи параметрів біотехнічної системи доїння, розроблено класифікацію інформаційно-вимірювальних систем параметрів біотехнічної системи доїння та класифікацію систем ідентифікації тварин, запропоновано варіанти реалізації систем ідентифікації рухомих та нерухомих тварин при використанні різних типів доїльних установок та різних способів утримання. З метою удосконалення методики вимірювального контролю тривалості роботи доїльних установок та доярів, розроблено статистичну модель тривалості доїння тварини при використанні доїльного апарату з функцією керування процесом доїння та без функції керування процесом доїння. На основі цієї моделі створено статистичні моделі тривалості роботи стійлових доїльних установок, групових доїльних установок, доїльних установок з прохідними станками, конвеєрних доїльних установок, доїльних роботів, які встановлюють зв'язок між математичним очікуванням і дисперсією тривалості роботи доярів і установок, та типом і кількістю доїльних апаратів, кількістю доярів, кількістю тварин, іншими параметрами тваринницької ферми. Проведено аналіз впливу помилок ідентифікації тварин на результати вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння при використанні групових доїльних установок. Для підвищення надійності функціонування систем ідентифікації тварин під час руху, запропоновано двоконтурну ортогональну антенну систему зчитувача транспондерів та методику ідентифікації проходження тварин та їх лічби у потоці на основі оптимальної лінійної фільтрації. Удосконалено математичну модель фотоелектричного вимірювального перетворення площа-напруга, з використанням цієї моделі розроблено фотоелектричний вимірювальний перетворювач рівню молока у молокоприймальній камері доїльного апарату та засіб вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння на його основі. Запропоновано методику підрахунку порцій молока, сформованих дозатором, на стійловій доїльній установці з молокопроводом, та методику виявлення вмісту води у молоці. Для використання на стійлових доїльних установках розроблено фотоелектричний вимірювальний перетворювач миттєвої інтенсивності молочного потоку, та методику вимірювання і контролю параметрів біотехнічної системи доїння на його основі. Також запропоновано вимірювальні перетворювачі рівню молока у молокоприймальній камері доїльного апарату з дискретним вихідним сигналом на основі магнітоактивних елементів та фотоелектричних елементів, які працюють у ключовому режимі. Проведено теоретичний аналіз похибок вимірювання та достовірності вимірювального контролю параметрів біотехнічної системи доїння при використанні розроблених технічних засобів. Результати проведених досліджень використано для створення та впровадження у промислове виробництво цілого ряду функціональних вузлів, що входять до складу інформаційно-вимірювальних систем параметрів біотехнічної системи доїння.

Список літературних джерел

1. Луценко, М. М. Розробка зоотехнологічних основ функціонування біотехнічних систем доїння і напрямків їх удосконалення [Текст] : дис. ... докт. с.–г. наук / М. М. Луценко. – Український Державний центр по випробуванню та прогнозуванню техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва. – Дослідницьке, 1993. – 299 с.

*Наукове видання*

**ТРЕТЬОЇ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**  
**«ВИМІРЮВАННЯ, КОНТРОЛЬ ТА ДІАГНОСТИКА**  
**В ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ (ВКДТС-2015)»**

**Збірник тез доповідей**

Матеріали подаються в авторській редакції

Комп'ютерне оформлення: Овчинников К.В.

Підписано до друку 07.10.2015 р. Гарнітура Times New Roman.  
Формат 29,7 × 42 ½. Друк різнографічний.  
Папір офсетний. Ум. друк. арк. 8,83  
Наклад 120 прим. Зам № 100587

Віддруковано ПП «ТД «Едельвейс і К»  
м. Вінниця, вул. 600-річчя, 17  
Тел.: (0432) 550-333  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру  
ДК №3736