

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА МЕТРОЛОГІЯ

МІЖВІДОМЧИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Відповідальний редактор – проф., д-р техн. наук Б.І. Стадник

Видається з 1965 року

Випуск 74

Львів
Видавництво Львівської політехніки
2013

УДК 621.317

Рекомендувала Вчена рада Національного університету "Львівська політехніка"

(протокол № 60 засідання від 26.03.2013 р.)

*Свідчення про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
серія КВ № 13126-2010Р від 13.08.2007 р.*

Редакційна колегія:

Богдан Стадник,	проф., д-р техн. наук, директор Інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології, Національний університет "Львівська політехніка" (відповідальний редактор);
Валерій Дудикевич,	проф., д-р техн. наук, Національний університет "Львівська політехніка" (заступник відповідального редактора);
Михайло Дорожовець,	проф., д-р техн. наук, Національний університет "Львівська політехніка" (відповідальний секретар);
Феодосій Гриневич,	проф., д-р техн. наук, академік НАН України, Інститут електродинаміки (Київ);
Ярослав Луцик,	проф., д-р техн. наук, Національний університет "Львівська політехніка";
Орест Івахів,	проф., д-р техн. наук, Національний університет "Львівська політехніка";
Адам Ковальчик,	проф., д-р техн. наук, Жешувська політехніка (Польща);
Василь Паракуда,	доц., канд. техн. наук, Державний науково-дослідний інститут "Система";
Ігор Руженцев,	проф., д-р техн. наук, Харківський національний університет радіоелектроніки;
Леонід Назаренко,	проф., д-р техн. наук, ДНВО "Метрологія" (Харків);
Євген Пістун,	проф., д-р техн. наук, Національний університет "Львівська політехніка";
Петро Столярчук,	проф., д-р техн. наук, Національний університет "Львівська політехніка";
Євген Володарський,	проф., д-р техн. наук, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут";
Ігор Курітник,	проф., д-р техн. наук, Університет у Бельсько-Бяла (Польща);
Василь Друзюк,	канд. техн. наук, директор ДЦСМС;
Олександр Гук,	канд. техн. наук, Генеральний директор НВО "Термоприлад" імені В.І. Лаха
Анатолій Саченко,	проф., д-р техн. наук, Тернопільський національний економічний університет

Адреса редколегії:

*Національний університет "Львівська політехніка",
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів-13
E-mail: ivt@polynet.lviv.ua*

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ І МАГНІТНИХ ВЕЛИЧИН

УДК 537.311.322

ПЛІВКОВІ СТРУКТУРИ В НАНОМАГНІТОМЕТРІЇ

© Пеленський Роман¹, 2013

¹Національний університет “Львівська політехніка”, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розроблено теорію наномагнітних перетворювачів, перспективних для широкого застосування у різних галузях науки, техніки і медицини.

Разработана теория наномагнитных преобразователей, перспективных в различных отраслях науки, техники и медицины.

A theory of nanomagnetic sensors that find wide application in various branches of science, engineering and medicine has been developed.

Вступ. У наш час на початковому етапі розроблення перебуває теорія електромагнітних процесів у наномагнітних перетворювачах, які вже знайшли широке застосування і мають подальші великі перспективи в різних галузях техніки та медицини.

Сучасна теоретична електродинаміка не описує процесів у наномагнітних перетворювачах, бо в ній не закладено квантові явища, основоположні в роботі наномагнітних елементів.

Поставлено завдання розроблення математичних моделей електромагнітних процесів у перетворювачах з метою їх використання для проведення проектних робіт у царині створення наномагнітної вимірювальної техніки.

Мета роботи полягає у розробленні теорії утворення на поверхні наноструктур некомпенсованого магнітного моменту, його впорядкованого руху як магнітного струму і формування у плівковому середовищі розподіленого магнітного заряду.

Виклад основного матеріалу

1. Квантово-механічні елементи в природі наномагнетизму

Магнетизм як квантово-механічне явище у другій половині XIX ст. не зміг розвинути.

У теорії електромагнітного поля вектор електромагнітної індукції $\vec{B}$ входить у рівняння

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0. \quad (1)$$

Бор і ван Льовен [1] стверджували про нездатність тогочасної класичної фізики до опису магнітних явищ. Наномагнетизм – суто квантове явище в часи Максвелла не міг бути відомим [2].

З розвитком квантової механіки [3] стало доступним вивчення руху некомпенсованого магнітного моменту, який з'являється у тонкоплівкових структурах за рахунок розірваних атомних зв'язків [4]. Розірваний атомний зв'язок зумовлює виникнення квантово-магнітного моменту, що дорівнює $1,25\mu_B$ (де μ_B – магнетон Бора). Отже, квант магнітного моменту – це приблизно $1,16 \cdot 10^{-23}$ Дж/Тл.

У наноплівках кількість поверхневих атомів співмірна з кількістю об'ємних атомів. У поверхневих атомах утворюються розірвані атомні зв'язки. В локальній приповерхневій області з'являються властивості, про які не здогадувались, вивчаючи суцільне середовище. Електродинаміка суцільного середовища описувалась несиметричною системою максвеллових рівнянь макроскопічного поля (2):

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{\delta}_e + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \\ \operatorname{div} \vec{B} &= 0, \\ \operatorname{div} \vec{E} &= r_e. \end{aligned} \quad (2)$$

де $\vec{H}$ і $\vec{E}$ – вектори напруженостей магнітного й електричного полів; $\vec{B}$ і $\vec{D}$ – вектори магнітної та

електричної індукції; δ – вектор густини електричного струму; r_e – питома об'ємна густина розподіленого в середовищі електричного заряду.

В суцільному середовищі існують атомні зв'язки з усіма атомами-сусідами. В розривному середовищі в поверхневих атомах верхні електрони долають роботу виходу електрона і розміщені на електричному листку, що міститься над поверхнею наночастини чи наноплівки.

Крім зарядової, на поверхні наявна спінова неоднорідність [4,5]. Спінове збурення полягає в тому, що на поверхні спіни електронів розміщені паралельно $\left(+\frac{1}{2} \text{ та } +\frac{1}{2}\right)$, тоді як у суцільному середовищі вони протилежно скеровані $\left(+\frac{1}{2} \text{ та } -\frac{1}{2}\right)$ і взаємно компенсуються. Тобто в об'ємі структури некомпенсований магнітний момент відсутній.

У приповерхневих шарах несучільних середовищ некомпенсований магнітний момент і збурене спінове поле [6] існують. Нескомпенсований магнітний момент $\bar{M} \left[\frac{\text{А}}{\text{М}} \right]$ зумовлює появу в поверхневій області

магнітного заряду з об'ємною густиною $r_M \left[\frac{\text{Вб}}{\text{М}^3} \right]$:

$$\text{div } m_a \bar{M} = -r_M, \quad (3)$$

де m_a – абсолютна магнітна проникність.

Рух магнітного моменту в приповерхневій області – це магнітний струм, його густина $\bar{\delta}_M \left[\frac{\text{В}}{\text{М}^2} \right]$.

Рух некомпенсованого магнітного моменту в збуреному спіновому середовищі – магнітний струм може мати хвильовий характер – це спінові хвилі [6]. У цьому випадку в математичну модель входять другі похідні.

Симетричне суцільне середовище описується несиметричною системою рівнянь (2), тоді як для опису електромагнітних процесів у несиметричному плівковому наномігнітному середовищі придатна симетрична система рівнянь електромагнітного поля. Введений Діраком у 1927 р. [7, 8] магнітний монополі здійснив симетрування системи рівнянь електродинаміки:

$$\begin{aligned} \text{rot } \bar{H} &= \bar{\delta}_e + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t}, \\ \text{rot } \bar{E} &= -\bar{\delta}_M - \frac{\partial \bar{B}}{\partial t}, \\ \text{div } \bar{B} &= r_M, \\ \text{div } \bar{E} &= r_e. \end{aligned} \quad (4)$$

2. Будова і характеристики плівкових середовищ. Класичним прикладом несиметричного середовища є наномігнітні плівки графена. З 2004 р. з часу виготовлення графенових плівок [9] дослідники в усьому світі зайнялись вивченням вуглецевих плівок, опубліковано тисячі статей, отримано тисячі патентів. Особливо важливими характеристиками графену [10, 11] є його міцність, найвища серед усіх відомих на Землі матеріалів. Міцність у поєднанні з повною прозорістю робить графен найперспективнішим матеріалом для сонячної енергетики [5]. Він не боїться дощу і граду, вуглецеві сонячні батареї на дахах будинків у найближчому майбутньому забезпечать енергетичну незалежність господарств. Швидкими темпами знижуються ціни вуглецевих плівок.

Об'єднання вуглецю і водню приводить до створення нових видів матеріалів. Створені графан і графон мають зовсім нові властивості. Якщо в моноатомарному плівковому вигляді графен – електропровідний матеріал, то графан – діелектрик, а графон – магнітний напівпровідник.

Вуглецеві фотоелектричні пристрої перетворюють інфрачервоне випромінювання Сонця на електроенергію. Для кремнієвих перетворювачів ця ділянка спектра сонячного випромінювання була недоступною, а це сорок відсотків енергії сонячного випромінювання. Тобто ефективність перетворення сонячної енергії зростає.

Можна створювати різноманітні конструкції для практичного використання вуглецевих плівок, отримуючи при цьому нові властивості. У здвоєних графенових плівках існує заборонена зона. Додаючи незначну частку атомів азоту при напыленні графенової плівки, отримуємо матеріал, у якому також є заборонена зона. Елементи всієї періодичної таблиці Менделєєва можна долучити до вуглецю, що дасть змогу створити нові матеріали з невідомими досі властивостями.

Гідрогенізацією за певної температури і певного тиску до моноатомних плівок вуглецю можна приєднувати водень. У разі двостороннього приєднання водню утворюється графан. Плівка, що містить водень лише з однієї сторони вуглецевого шару – це графон [12]. Тобто графон – несиметрична структура, вона містить подвійний шар магнітних зарядів лише з одного боку, тому зараховують таку плівку до магнітних матеріалів.

Якщо наноплівка графону виконана як моношар вуглецю, на якому розміщений моношар водню, то

атом вуглецю має ковалентні зв'язки з двома атомами вуглецю і атомами водню, четвертий зв'язок (поверхневий) розірваний. Внаслідок цього виникає квант магнітного моменту. На поверхні з'являється магнітний заряд (формула (3)), котрий індукуює свою діонну пару. На водневій поверхні електрон водню вступає у ковалентний зв'язок, а позитивно заряджені ядра водню утворюють позитивний електричний листок. Від'ємна обкладка подвійного електричного шару зарядів міститься в площині спільних для вуглецю та водню електронів. Отже, на вуглецевій поверхні графону існує подвійний шар магнітних зарядів, який і приводить до кваліфікації графону як магнітної структури.

У живому організмі магнітні наночастинки та наноплівки також існують. Наприклад, наночастинка Fe_3O_4 , котра є в головах бджіл і голубів, відповідає за їх блискучу просторову орієнтацію.

3. Наноманітні перетворювачі на основі явища гігантського магнітного опору (ГМО). У вимірювальній техніці останнім часом почали широко застосовувати явище гігантського магнітного опору [7] для створення перетворювачів магнітного поля найрізноманітнішого призначення: для підрахунків інформації, записаної на жорстких магнітних дисках, для оцінювання магнітної пам'яті в біосенсорах, в технічних засобах оцінки рівня коливань. На основі шаруватих наноадграток створено наносенсиори магнітних полів.

Суть явища ГМО [13] ґрунтується на змінах опору під дією зовнішнього магнітного поля. Основну роль у явищі ГМО відіграє спіні [14]. В залізі опір вздовж силових ліній магнітного поля збільшується, а впоперек магнітних силових ліній він зменшується. Особливо великою мірою проявляються ці властивості опору в шаруватих наноадгратках, в яких чергуються феромагнітні та неферомагнітні шари. В природі матеріалів з подібними властивостями поки що не знайдено. Отже, використання орієнтації спіна в поєднанні з напрямом зовнішнього магнітного поля слугує для створення нового напрямку в магнітометрії.

4. Наноманітометричні технології. У царині високих технологій вже на етапі організації випуску інтегральних схем був передбачений тотальний контроль за ходом всього технологічного процесу. Засоби для цього були якнайрізноманітніші. Наприклад, дуже

широко застосовувались тестові структури. На основі вимірювання лише одного параметра можна було зробити висновок, чи не утворюються на поверхні пластин дефекти і дислокації, бо наявність останніх під напиленнями плівками алюмінію спричинила б вигорання струмовиводів транзистора. В результаті вихід придатної продукції міг становити лише 0,1 %. На передових виробництвах цей показник був на рівні 70 %. Шуми субмікронних транзисторів завдяки контролю і внесенню корекцій в технологічний процес вдавалось знизити до зниклого малого рівня.

У галузі надвисоких технологій, якою є виробництво нанопродукції, роль вимірювальних систем у ході створення кінцевого продукту ще на порядки вища. На поверхні графенової плівки недопустимі ніякі дефекти, на яких розсіюються електрони, бо тоді суперпровідність плівки неможлива.

Нанооб'єкти володіють особливими фізичними і хімічними властивостями, викликаними квантовими ефектами. Особливі властивості виникають через розриви поверхневих міжатомних і міжмолекулярних зв'язків, наслідком чого є поверхневі квантові ефекти типу появи на поверхні некомпенсованого моменту, збільшення частки поверхневої енергії в загальному обсязі внутрішньої енергії, зв'язаної з хімічним потенціалом.

У шаруватих структурах, складених з різних моносарів, проявляються спінові неоднорідності – в одних шарах спіни паралельні, у інших – антипаралельні. Усі ці явища трапляються в наноманітних плівках і частинках.

Магнітні наночастинки можна створювати перемеленням нанопороди за допомогою спеціальних млинів і сепарації магнітних частинок потужним магнітним полем. Створення носіїв інформації у вигляді цих наночастинок в разі збільшить густину магнітного запису інформації.

Перетворення плівок на наноманітні здійснюється на підставі квантового ефекту Хунда, завдяки якому на поверхні плівки утворюється некомпенсований магнітний момент, зумовлений паралельно скерованими спінами. На поверхневі магнітні рівні [14] захоплюються кванти магнетизму, Наноманітні технології спітроніки [15] використовують ці явища.

5. Перспективи розвитку вимірювальної техніки для потреб наногалузі. Особливо важливі завдання виникли перед вимірювальною технікою в зв'язку з

розвитком нанотехнологій. Якнайшвидше необхідно освоїти технології виготовлення мільярдів квадратних метрів графенових листів для вуглецевої геліоенергетики. Ці пластини – це верхній шар сонячних батарей. Вони надміцні, зручні в монтуванні, не бояться граду, дощу, можуть перебувати на дахах будинків протягом десятків років і здійснювати енергозабезпечення господарств. Найважливішою операцією при напыленні вуглецевих наноплівочок є контроль їхньої товщини. Терміново потрібно розробити вимірювальні системи, які б здійснювали цю функцію.

Графенові нанотрубки є наступним дуже перспективним матеріалом для сонячної енергетики і наноелектроніки. Вимірювальна техніка повинна забезпечити можливість виготовлення нанотрубок з монокристалічними вуглецевими стінками. Поверхня таких трубок не містить дефектів, тому нема розсіювання електронів. Вони можуть бути суперпровідними матеріалами, а в поєднанні з різними іншими елементами таблиці Менделєєва – напівпровідниками з особливими властивостями.

Наноманітні структури є в біосистемах живого організму. Вони беруть участь в системах запам'ятовування і оброблення інформації. Переорієнтація елементарного магнітного диполя [14] супроводжується породженням або поглинанням квантів енергії – фотонів. Проявляється квантування електромагнітного поля. Утворюється фотонне середовище. Вимірюючи кількість фотонів певної частоти, отримуємо вичерпну інформацію про складові електромагнітного поля.

У рукотворній цифровій техніці проходять аналогічні процеси з утворенням фотонних полів [15], правда, значно інтенсивніших. Фотонні поля цифрових пристроїв і біосистем взаємодіють, що може приводити до заподіяння шкоди здоров'ю носіїв цих пристроїв і навіть впливати на здоров'я їхніх майбутніх потомків.

Перед вимірювальною технікою, радіотехнікою, біологією і медициною постала нагальна проблема у створенні засобів вимірювання взаємовпливу рукотворної техніки з біосистемою живого організму, щоб запобігти катастрофі, яку вже пережило наше покоління, коли в Європі народилось п'ять мільйонів важко-

хворих дітей через те, що їхні батьки приймали шкідливі пілюлі.

Висновки. Розроблена теорія дає змогу розраховувати характеристики магнітних наноструктур. Поки що практично відсутні прилади і методи вимірювання параметрів наноманітних частинок і плівок. Поєднання теоретичних моделей наноманітних явищ з вимірювальною практикою стане поштовхом до створення наноманітної метрології.

1. Теорема Бора и ван Лёвен. *Физическая энциклопедия*. – М.: БСЭ, 1988. – Т. 1. – С. 225.
2. Тамм И.Е. *Основы теории электричества*. – М.: Наука, 1966. – 624 с.
3. Мигдал А. Б. Нильс Бор и квантовая физика УФН. – Т.147. – 1985. – С. 303–342.
4. Пеленський Р. Властивості структур з розривами атомних, міжмолекулярних та внутрішньомолекулярних зв'язків у плівках // *Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2006. – № 569. – С.98–102.
5. Пеленський Р. Сонячний елемент: Патент на винахід № 100796 від 20.07.2011. Публікації: Бюл. № 13 10.07.2012, Бюл. № 2 25.01.2013.
6. Ахиезер А. И., Баряхтар В.Г., Пелетминский С. В. *Спиновые волны*. – М., 1967. – С. 4–64.
7. Монополю Дирака. – М.: Мир, 1970. – 208 с.
8. Атья М. Хитчин Н. *Геометрия и динамика магнитных монополей*. – М.: Мир, 1996. – 148 с.
9. Geim A. *Graphene Status and Prospects* // *Science*. – 2009. – 324. – Р. 1530.
10. Семенов А.П., Белянин А.Ф., Семенова И.А., Пащенко П.В., Барнаков Ю.А. Тонкие пленки углерода // *ЖТФ*. – 2000. – Т.74. – Вып. 5.
11. Петрик Е.И. Явления образования наноструктурных углеродных комплексов: открытие-диплом – 2001. – № 163.
12. Макарова Т.Л. Магнитные свойства углеродных структур // *Физика и техника полупроводников*. – 2004. – Т. 38. – Вып. 6. – С. 641–664.
13. Никитин С.А. Гигантское магнетосопротивление // *Соросовский обзорный журнал*. – 2004. – Т. 8. – № 2. – С. 92–98.
14. Хайкин М.С. Магнитные поверхностные уровни // *УФН* 168 Т96. – С. 409.
15. Ферт А. Происхождение, развитие и перспективы спинтроники // *УФН*. – 2008. Т. 178. – № 12. – С. 1336–1348.

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ ТЕПЛОВИХ ВЕЛИЧИН

УДК 536.6

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ СПОСОБІВ ОБЛІКУ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛА ІНДИВІДУАЛЬНИМИ СПОЖИВАЧАМИ

© Наталія Заміщак, Ярослав Луцик, 2013

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Проаналізовано основні способи обліку витрат тепла індивідуальними споживачами, розглянуто їхні переваги та недоліки. Результати роботи можна використовувати під час розроблення та проектування нових засобів вимірювання витрат тепла.

Проанализированы основные способы учета расхода тепла индивидуальными потребителями, рассмотрены их преимущества и недостатки. Результаты работы можно использовать при разработке и проектировании новых средств измерения расхода тепла.

This paper describes the analysis of the main ways of account of heat energy consumption by individual user and presents their advantages and disadvantages. The results of the work can be used in the design and developing of new means of heat energy.

Постановка задачі. Відомо, що в усьому світі та в Україні зокрема за останні десятиліття постала гостра необхідність в ощадливому використанні енергетичних ресурсів. У минулому, за низьких цін на енергоносії, не вважали проблемою те, що житлово-комунальне господарство (ЖКГ) є однією із найбільш енергозатратних галузей. В структурі витрат ЖКГ витрати енергоресурсів на теплове постачання посідають перше місце. Кількісні витрати енергетичних ресурсів у сучасному житловому секторі розподіляються так: приготування їжі – 6 %, гаряча вода – 11 %, освітлення і використання різних пристроїв та побутової техніки – 11 %, опалення – 72 % (див. рисунок) [1].

Отже, заощадження енергетичних ресурсів у житлово-комунальному господарстві залежить, передусім, від економії в галузі теплопостачання, де найзатратнішою часткою є багатоповерхові (багатоквартирні) будівлі.

Для підвищення ефективності теплопостачання удосконалюються централізовані системи теплопостачання (підвищується теплоізоляція теплопроводів, використовується ефективніше устаткування, сучасні прилади автоматики і керування) та підвищується рівень енергетичної ефективності будинків (енер-

гоаудит і паспортизація будинків, збільшення термічного опору огорожувальних конструкцій, застосування ефективного інженерного устаткування тощо) [2]. Крім того, важливим заходом є обладнання будинків засобами обліку витрат тепла.



Діаграма поділу енергетичних затрат у житловому секторі

Сьогодні оплата за опалення становить значну частину оплати за житло. Українські споживачі енергоресурсів, переважно, платять не за реально спожиту кількість теплової енергії, а за нормовану, і не зацікавлені у зниженні енергоспоживання. Виробники ж енергоресурсів, окрім прямих витрат теплової енергії, до її вартості, яку сплачують споживачі, додають також витрати на компенсацію втрат трубопроводами

та інженерними спорудами теплових мереж, експлуатаційні витрати, зокрема й на технічне обслуговування.

Мета цієї роботи – проведення аналізу основних прийнятих способів обліку витрат тепла індивідуальними споживачами для застосування його результатів у розробленні та проектуванні нових засобів вимірювання витрат тепла.

Виклад основного матеріалу. Проаналізуємо, як сьогодні обліковується спожите тепло в окремого споживача.

Якщо будинок не оснащено засобом обліку теплової енергії, то розрахунок для індивідуальних споживачів ведеться за **нормами витрат тепла** на потреби опалення (КТМ 204 України 244-94). Норми витрат — це показник витрат на виробництво одиниці продукції (роботи) для опалення приміщень з розрахунку на 1 м² загальної опалювальної площі чи 1 м³ об'єму будов (за зовнішнім обміром) [3]. Для такого способу кількість спожитої теплової енергії знаходять так:

$$Q_i = k \cdot S_i, \quad (1)$$

де Q_i – кількість тепла, використаного i -м споживачем; k – норма споживання теплової енергії на обігрівання 1 м² за нормований період часу; S_i – площа приміщення i -го споживача.

Норми споживання теплової енергії на обігрівання 1 м² встановлюються для окремих регіонів на основі розрахунків витрат тепла за попередні роки. Річні потреби тепла на опалення визначають за окремими формулами, результат розрахунків залежить від зовнішньої температури в опалювальний період, тривалості опалювального періоду, кількості годин роботи систем опалення на добу тощо.

Такий спосіб не враховує ступінь засклення приміщень, особливості об'ємно-планувального вирішення будинків та інші теплотехнічні фактори, що істотно впливають на енергозатратність приміщення. Також застосування такого обліку призводить до істотних розбіжностей між встановленою нормою споживання тепла та фактичним його споживанням, часто завищується реальна потреба споживаної кількості тепла і тому не сприяє впровадженню енергозощаджувальних технологій з боку споживача.

Також в Україні поширений так званий «**комерційний облік**», що полягає в оснащенні будинку чи

під'їзду окремим засобом обліку. Згідно зі статистичними даними [5] в Україні існує близько 150 тисяч багатоквартирних будинків з централізованим опаленням. Станом на 1 січня 2002 року з усіх цих будинків були обладнані лічильниками теплової енергії близько 7,0 % від загальної кількості. Для Львівської області цей показник становить 18,4 %.

Якщо встановлено будинкові засоби обліку теплової енергії, індивідуальний споживач оплачує послуги згідно з їх показниками пропорційно до опалюваної площі (або об'єму) квартири. Тоді кількість теплової енергії, що спожив окремий споживач, Q_i знаходять так:

$$Q_i = Q_{\text{бвд}} \cdot \frac{S_i}{S}, \quad (2)$$

де $Q_{\text{бвд}}$ – кількість теплової енергії, за показами будинкового теплового лічильника; S_i – за певний період часу; площа приміщення i -го споживача; S – площа всього будинку.

Цей спосіб достовірніший щодо загальнобудинкового використання теплової енергії, але що стосується окремих споживачів, то в ньому не враховуються індивідуальні теплотехнічні характеристики кожного приміщення та його опалювального обладнання.

Способом визначення витрат тепла відповідно до витрати теплоносія у системі опалення вимірюється інтегральна кількість теплової енергії Q , яку віддали квартира чи окремий опалювальний пристрій за деякий проміжок часу $\Delta t = t_2 - t_1$ (t_1 – момент часу, що відповідає початку вимірювання, t_2 – момент часу, що відповідає закінченню вимірювання). Аналітичний вираз для визначення Q є відомий і достатньо вивчений [6, 7]

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} q(t) dt, \quad (3)$$

де $q(t)$ – це теплова потужність, яка відповідає кількості тепла за одиницю часу t і її розмірність – Вт, Дж/с.

Відомо, що $q(t) = m(t) \cdot h(t)$ (тут $m(t)$ – маса теплоносія, що витрачається на обігрівання квартири, кімнати чи окремого теплового пристрою, кг; $h(t)$ – питома ентальпія теплоносія, Дж/кг). Тоді для мереж тепlopостачання з поверненням охолодженого теплоносія до тепловиробників або переданням його наступним споживачам вираз (3) набуває такого вигляду:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} m(t)(h_{np}(t) - h_{36}(t))dt, \quad (4)$$

де $h_{np}(t)$, $h_{36}(t)$ – питома ентальпія теплоносія відповідно в прямому та зворотному трубопроводах, Дж/кг. Тепловий лічильник обчислює теплову енергію як інтеграл, одним із відомих числових методів.

Якщо перейти до виразу (4) у неінтегральній формі, тоді вираз для обчислення кількості теплової енергії Q_i , спожитої i -м споживачем, буде таким:

$$Q_i = m_i(h_{i np} - h_{i 36}). \quad (5)$$

Ентальпія прямо не вимірюється, проте її можна виразити через температуру T і питому теплоємність c теплоносія. Тоді

$$Q_i = m_i \cdot c \cdot (T_{i np} - T_{i 36}) = m_i \cdot c \cdot \Delta T_i, \quad (6)$$

де $T_{i np}$, $T_{i 36}$ – температура теплоносія відповідно в прямому та зворотному теплопроводах i -го споживача, а ΔT_i – їх різниця. Масу теплоносія m_i у системі опалення теж неможливо виміряти, а вимірюється його об'ємна витрата V_i , м³/с. Якщо $m_i = r \cdot V_i$ (де r – густина теплоносія, кг/м³), тоді

$$Q_i = r \cdot V_i \cdot c \cdot \Delta T_i. \quad (7)$$

Густина води (теплоносія) r залежить від її температури T і тиску p . Часто величиною r нехтують, оскільки густина води за будь-якої температури і будь-якого тиску близька до 1000 кг/м³, тому вважають, що маса 1 м³ води приблизно дорівнює 1 тонні. Залежність густини води від температури та тиску неможливо представити точною формулою, тому вона визначається або за спеціальними таблицями [8, 9], або за допомогою апроксимуючого полінома [10]. Визначення питомої теплоємності c , яка також залежить від тиску p та температури T , проводиться аналогічними методами – з таблиць або функціонально. Через такі практичні особливості за нормативами [11, 12] використовується формула (5) для визначення теплової енергії в Україні та в інших країнах, що входили до Радянського Союзу.

У західних країнах теплову енергію обчислюють як

$$Q_i = V_i \cdot K_T \cdot (T_{i np} - T_{i 36}), \quad (8)$$

де K_T – тепловий коефіцієнт (відомий також як коефіцієнт Штюка), який залежить від властивостей теплоносія за відповідних значень температури і тиску,

МДж/(м³·°C). Відомо, що формула (8) характеризується істотною методичною похибкою [13]. Умовно істинне значення теплового коефіцієнта для води, у разі використання її як теплоносія, розраховують для тиску 16 атмосфер (1600 кПа). Тепловий коефіцієнт K_T враховує густину теплоносія і його питому теплоємність, знайдені з урахуванням зазначеного тиску. Засоби вимірювання теплової енергії європейського виробництва працюють за відповідними європейськими стандартами, але вітчизняні системи теплопостачання не розраховані на тиск 16 атмосфер. Тому особливості описаного вище способу розрахунку необхідно враховувати у разі впровадження закордонних вимірювальних засобів в Україні.

Отже, для реалізації способу визначення витрат тепла відповідно до витрати теплоносія в системі опалення необхідно вимірювати витрати теплоносія V_i , температури теплоносія у вхідному та вихідному (прямому та зворотному) трубопроводах $T_{i np}$ та $T_{i 36}$, тиску теплоносія p (якщо його значення не приймають сталим). За таким способом працюють практично всі теплові лічильники (СТ – 1М, Multical, Sensoric, Ultraheat 2WR, Integral, UFEC 005 та інші).

Оплата теплової енергії за показниками індивідуальних поквартирних теплолічильників є найоб'єктивнішою і такою, що стимулює мешканців і власників приміщень до ефективного та ощадливого споживання теплової енергії. Проте вартість лічильників тепла є високою – від 300 доларів США і більше. Встановлення таких лічильників просто реалізується лише у тих будівлях, де система опалення має горизонтальне розведення обігрівачів. Оскільки в Україні більшість багатопверхових будівель мають вертикальне розведення обігрівачів, то пропонується поряд з комерційним обліком застосовувати системи для поквартирного обліку витрат теплоносія, робота яких основана також на способі визначення витрат тепла відповідно до витрати теплоносія. Така система поквартирного вимірювання тепла визначає теплоспоживання кожного стояка окремо, різницю значень ентальпій на вході та виході в приміщення локального споживача (квартири) по кожному стояку, що проходить через приміщення, встановлює частку спожитої теплової енергії у приміщенні квартири в межах одного стояка, розраховує загальну кількість тепла, що спожив локальний споживач.

Основним недоліком *способу визначення витрат тепла відповідно до витрати теплоносія* є те, що значення теплової енергії за ним повністю залежить від теплофізичних параметрів теплоносія, в нашому випадку – води. Вода, що протікає у системах централізованого опалення, повинна відповідати певним нормам, на підставі яких і визначено методи розрахунку маси та ентальпії теплоносія. Але насправді у системах вода часто далека від встановлених норм. Тому теплофізичні параметри, які визначаються в процесі розрахунку витрат тепла, будуть неточними. Крім того, забруднення теплоносія-води не лише різними домішками, але й великими частками накипу чи іншого бруду виводить з ладу витратоміри, які використовуються в засобах вимірювання теплоспоживання. У таких випадках можна застосовувати ультразвукові витратоміри, але вони значно дорожчі від механічних. Також у разі реалізації цього способу часто використовують стале значення тиску, застосування якого теж обгрунтоване для “нормованого” теплоносія. А для тієї “суміші”, що є насправді теплоносієм, ці дані не враховано. Та й саме значення тиску в системі опалення може теж істотно змінюватись на різних ділянках. Щоб уникнути цього, ставлять у засоби та системи вимірювання теплової енергії вимірювачі тиску, що робить ці засоби і системи дорожчими та складнішими.

Існує ще один спосіб визначення витрат тепла, який на початку XX ст. запропонував датський інженер Одін Кларіус [14]. Він полягає у *вимірюванні кількості тепла, що віддає поверхня кожного обігрівача*. Теоретично процес віддавання тепла від обігрівача (батареї, радіатора, конвектора) до повітря кімнати вважають конвективним теплообміном. Основним законом, що описує процес конвективної теплопередачі, є закон Ньютона–Ріхмана, відповідно до якого кількість тепла, передана за одиницю часу конвекцією, прямо пропорційна до площі поверхні теплообміну та різниці температур між поверхнею твердого тіла і рідиною (газом) [15, 16]:

$$Q = a \cdot S \cdot (T_{cm} - T_n), \quad (9)$$

де S – площа поверхні, m^2 ; T_{cm} і T_n – температури стінки і теплоносія відповідно, $^{\circ}C$. У випадку обігрівача, що нагріває повітря у кімнаті, закон Ньютона–Ріхмана набуде вигляду

$$Q_j = a_j \cdot (T_{jo} - T_{jнов}) \cdot S_j \cdot t, \quad (10)$$

де j – номер конкретного обігрівача; a_j – коефіцієнт тепловидатності обігрівача, $Вт/(m^2 \cdot K)$; T_{jo} – середня температура поверхні обігрівача, $^{\circ}C$; $T_{jнов}$ – температура повітря у приміщенні (повітря тут як охолоджувальний теплоносіє), $^{\circ}C$; S_j – площа поверхні, що віддає тепло (площа обігрівача); m^2 ; t – час споживання тепла, с.

Тоді загальна витрата теплової енергії в окремій квартирі визначатиметься з виразу:

$$Q_i = \sum_{j=1}^n Q_j, \quad (11)$$

де n – кількість обігрівачів у i -й квартирі.

Однак у разі визначення величини теплоспоживання таким методом у розрахунках використано коректувальні коефіцієнти a_j , які враховують відмінності обігрівачів, що застосовуються. Ці коефіцієнти називають – радіаторними коефіцієнтами, і визначають їх за допомогою досліджень для кожного обігрівача. Сам радіаторний коефіцієнт залежить від низки зовнішніх факторів, зокрема, від неоднорідності виготовленого радіатора (що спричиняє нерівномірний тепловий потік по поверхні), якості теплоносія (що призводить до зміни радіаторного коефіцієнта з часом в результаті зашлакованості радіатора), способу подавання теплоносія тощо. Тому цей спосіб актуальний для ідеального будинку з високоякісними однотипними радіаторами з чітко визначеними характеристиками. Сьогодні в українських житлових будинках застосовують різні обігрівачі (радіатори) – від чавунних до сучасних біметалевих, а це потребує отримання детальних характеристик всіх їх типів.

Відомі реалізації систем обліку витрат тепла для індивідуальних споживачів, що визначають витрату тепла за методом визначення кількості тепла, відданого радіатором [15, 16]. Запропоновано для комерційного обліку витрат тепла визначати середнє значення коефіцієнта тепловидатності обігрівача $a_{сер}$. Загальна кількість спожитої теплової енергії $Q_{гвд}$ (за показом загальнобудинкового лічильника) визначатиметься як

$$Q_{гвд} = \sum_{j=1}^m Q_j, \quad (12)$$

де m – загальнобудинкова кількість радіаторів, що встановлені в квартирах та на сходових клітках, загальних коридорах тощо. Тоді із урахуванням (10)

$$a_{сер} = \frac{Q_{гвд}}{\sum_{j=1}^m S_j \cdot \Delta T_j \cdot t}, \quad (13)$$

де ΔT_j – різниця температур між температурою на поверхні обігрівача й охолоджувального середовища локального споживача тепла.

Визначивши $\alpha_{сер}$, підставляємо його до виразу (10) і знаходимо кількість тепла, що віддав окремий радіатор Q_i за час t . Кількість тепла, спожитого локальним споживачем Q_i , у цьому способі визначатиметься як

$$Q_i = k_{заг.вип.} \sum_{j=1}^n Q_j, \quad (14)$$

де $k_{заг.вип.}$ – коефіцієнт, що враховує витрати тепла на загальнобудинковий обігрів (обігрів сходових кліток, технічних приміщень, загальних коридорів тощо) для кожного окремого споживача.

Отже, спосіб визначення витрат тепла локальним споживачем із урахуванням закону Ньютона–Ріхмана дає змогу відійти від теплофізичних особливостей теплоносія. У разі застосування цього методу для побудови системи визначення витрат тепла індивідуальними споживачами в багатоповерхових будівлях, щоб знайти кількість тепла, що віддає пристрій опалення, потрібно лише виміряти температуру. Це дає змогу також спростити технічне рішення та знизити вартість системи. Натомість у разі використання цього способу великого значення набуває коефіцієнт тепловідатності α . А це, своєю чергою, визначення характеристик типів радіаторів (обігрівачів), що зробити цілком можливо, оскільки більшість з характеристик радіаторів задають їх виробники.

Висновки. Враховуючи загальну ситуацію в Україні у період зтяжної енергетичної кризи та дороговизни палива, можна зробити висновок про необхідність пошуку нових шляхів енергозбереження. Оскільки однією з найенергозатратніших галузей є житлово-комунальне господарство, а найвагоміші в ньому – витрати енергоресурсів на теплове постачання, то важливо впроваджувати енергоощадні заходи власне у цьому секторі. До енергоощадних заходів належить впровадження індивідуального обліку використання тепла в багатоквартирних будинках, оскільки це спонукає споживачів до економії використаної теплової енергії у власному приміщенні. Зазначимо, що індивідуальний облік буде результативнішим за умови встановлення засобів для регулювання температури теплових пристроїв самим споживачем та проведення утеплення вікон, дверей чи зовнішніх стін приміщення.

Аналіз відомих способів обліку теплової енергії в окремого споживача та визначення їхніх переваг та недоліків дає змогу вибрати конкретний для засобів вимірювання теплової енергії, зокрема для систем обліку індивідуального споживання теплової енергії в багатоквартирних будинках. Для побудови таких систем здебільшого застосовується спосіб визначення витрат тепла за витратою теплоносія, оскільки він більш вивчений і вважається достовірнішим. Хоча, за технічною реалізацією, спосіб обліку, побудований на законі Ньютона–Ріхмана, простіший та дешевший. Але, застосовуючи його, необхідно враховувати як неточності у визначенні коефіцієнта тепловідатності обігрівача, так і складову теплового випромінювання, яка в багатьох видах обігрівачів істотна.

1. *Thermal Modeling of a Solar Water Collector Highly Building Integrated* / F. Motte, C. Cristofari, G. Notton. *Excerpt from the Proceedings of the 2011 COMSOL Conference in Stuttgart, Germany*.
2. Мухайлюк О.Л. Ринкові механізми енергозбереження на півдні України. <http://www.niss.od.ua>. [З мережі]
3. Єршоменко А. Українців ставлять на лічильник — тепловий // *Дзеркало тижня*. Україна. — № 43. <http://dt.ua/ECONOMICS>.
4. Маліков В.М., Худенко А.А. Підвищення ефективності енергозбереження в житлово-комунальному господарстві. — <http://www.necin.gov.ua>. [З мережі]
5. Постанова Кабінету Міністрів України від 25 грудня 2002 р. № 1957. “Про продовження терміну виконання Програми поетапного оснащення наявного житлового фонду засобами обліку та регулювання споживання води і теплової енергії до 2007 року”.
6. Михеев М.А. Основы теплопередачи. — Ленинград: Государственное энергетическое издательство, 1956. — 392 с.
7. Каханович В.С. Измерение расхода вещества и тепла при переменных параметрах. — М., 1970. — 168 с.
8. ГСССД Р-776-98. Александров А. А., Григорьев Б. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. — М.: Издательство МЭИ, 2006. — 168 с.
9. ГСССД 98-86. Вода. Удельный объем и энтальпия при температурах 0...1000 град. С и давлениях 0,001...1000 МПа.
10. МИ 2412-97. ГСИ. Водяные системы теплоснабжения. Уравнения измерения тепловой энергии и количества теплоносителя.
11. Тимчасові правила відпуску та обліку спожитої теплової енергії. — Держ. комітет України з житлово-комунального господарства. — К., 1996. — 66 с.
12. Правила учета тепловой энергии и

теплоносителя. утв. Минтопэнерго РФ 12.09.1995 № Вк-4936 (Зарегистрировано в Минюсте РФ 25.09.1995 № 954). 13. Гришанова І.А. Шляхи вдосконалення витратомірів-лічильників // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – Вип. 38. – К., 2009. – С. 62–70. 14. Грачева Екатерина, Сколько платит за воду и отопление? Поквартирный учет расхода воды и тепла и оплата реально предоставленных услуг. –

<http://www.energosber.74.ru/uchet/uchet02.htm>. [З мережі] 15. Енциклопедія термометрії / Я.Т. Луцик, Л.К. Буняк, Ю.К. Рудавський, Б.І. Стадник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – С. 428. 16. Врагов А.П. Теплообмінні процеси та обладнання хімічних і газонафтопереробних виробництв: навч. посіб. – Суми: Вид-во СумДУ, 2006. – 262 с.

УДК 621.311.13

МЕТОД ПОБУДОВИ ЯДЕРНО-КВАДРУПОЛЬНОГО РЕЗОНАНСНОГО ТЕРМОМЕТРА НА ОСНОВІ ЦИФРОВИХ СИНТЕЗАТОРІВ

© Волицький Ростислав, 2013

Національний університет «Львівська політехніка», кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
вул. С. Бандери, 28а, 79013, Львів, Україна

Розглянуто традиційні методи детектування ядерно-квадрупольного резонансу та запропоновано новий підхід до розроблення його вимірювального каналу. Канал оснований на цифрових синтезаторах та цифрових елементах. Розглянуто недоліки і переваги цих методів.

Rассмотрено традиционные методы детектирования ядерно-квадрупольного резонанса и предложен новый подход к разработке его измерительного канала. Канал базируется на цифровых синтезаторах и цифровых элементах. Также рассмотрены недостатки и преимущества этих методов.

As part of this work were considered traditional methods of detection of nuclear quadrupole resonance, and a new approach to the development of its measuring channel. This channel is based on the digital synthesizers and digital elements. It was also discussed the advantages and disadvantages of these methods.

Вступ. Ядерно-квадрупольний резонанс (ЯКР) – це метод спектроскопії, вперше описаний у роботі Демельта і Крюгера 1946 р. [1]. За допомогою цього методу можна отримати детальну інформацію про фізико-хімічну будову певного кристала речовини, а саме: симетрію кристала, будову хімічних зв'язків, фазових переходів, міжмолекулярних з'єднань, дефектів та внутрішніх процесів кристала [2, 3]. Цей метод становить величезний інтерес для фізиків і хіміків, оскільки він уможливорює розуміння суті і природи певної речовини.

Суть явища ЯКР криється у такому понятті, як ядерно-квадрупольний момент. Ядерно-квадрупольний момент – це така величина, яка характеризується неідеальністю сферичної форми ядра. В кристалах під впливом ядерного квадруполя з електричним полем електронних оболонок виникає орієнтація ядерних спінів у деякому напрямку. Якщо перпендикулярно до

цього напрямку накласти радіочастотне поле, частота якого дорівнює частоті переходу між рівнями квадрупольної енергії, то можна спостерігати поглинання потужності радіочастотного поля [4].

ЯКР тісно пов'язаний з ядерно-магнітним резонансом. Міллер і Беррел у вступі до своєї статті прекрасно описують відмінність між цими двома явищами [5]. Весь матеріал цієї статті зводиться до того, що ключовою відмінністю між ЯМР та ЯКР є саме слово «зовнішній». Тобто у ЯМР виникає зовнішнє магнітне поле, тому що дослідник спрямував зусилля на те, щоб прикласти це поле до досліджуваного зразка, можливо, використовуючи надпровідний електромагніт. У ЯКР потрібне електричне поле (якщо точніше, градієнт електричного поля), яке є самодостатнім: воно відображає місця розташування електронів навколо досліджуваного ядра, тобто існує завжди. За цих умов відбувається поглинання енергії

зовнішнього поля, яке можна визначити, а отже, і дізнатись про внутрішню структуру або процеси у кристалі за допомогою першого чи другого методу.

Відповідно до вказаних явищ, автор статті наводить хороший приклад: атомний електрон поглинає фотон певної частоти (тобто отримує порцію потрібної енергії) і переходить від стану спокою у збуджений стан, коли ж навпаки, то електрон випромінює фотон тієї самої частоти, щоб зрівноважити свою енергію.

У 1951 р. Хорст Байер розробив теорію температурної залежності частоти ЯКР у вибраному термометричному матеріалі [6]. Ця теорія ґрунтується на принципі ЯКР. Саме це стало поштовхом для створення ядерно-квадрупольного термометра. Цю ідею вперше запропонували такі вчені, як Крістофер Дін і Роберт Паунд [7].

Ядерно-квадрупольний резонансний термометр. Ядерно-квадрупольний резонансний термометр (далі ЯКР термометр) є складним сучасним електронним приладом, яким можна вимірювати абсолютну температуру з прецизійною точністю у широкому діапазоні. Термометр здатний вимірювати у діапазоні (77–425) К з точністю 0,001 К та у діапазоні (10–77) К з точністю 0,01 К. Нижче 10 К сигнал ЯКР термометра різко спадає і вимірювання стає неможливим.

Чутливим елементом (сенсором) термометра слугує хлорат калію (KClO_3), оскільки цей елемент має високу хімічну стабільність. Саме ця сіль нині найкраще задовольняє вимоги щодо побудови чутливого елемента ЯКР термометра. Сенсор ЯКР термометра одноразово відградуваний, не потребує періодичних перевірок і калібрування протягом всього періоду експлуатації. Також варто зазначити, що сенсор є чутливим до потужного магнітного поля. Хоч і це магнітне поле не впливає на роботу сенсора, але сигнал різко падає і розширюється, що не сприяє точному вимірюванню. Якщо напруженість магнітного поля перевищує 160 А/М, сигнал ЯКР практично зникає і термометр стає непрацездатним. Цю проблему можна вирішити екрануванням чутливого елемента пермалоевим екраном.

$$\text{Чутливість } S = \left. \frac{dF_{\text{ЯКР}}}{dT} \right|_{T=300 \text{ К}} = 5 \frac{\text{кГц}}{\text{град}}, \text{ на резонансній частоті ЯКР } F_{\text{ЯКР}} = (28 \pm 1) \text{ МГц}$$

Спроекований ЯКР термометр не має аналогів в Україні та СНД і може бути виготовлений лише на замовлення, оскільки серійно не випускається.

Ремонт приладу може виконати лише виробник або спеціаліст у цій галузі, що має спеціальну підготовку [8].

Огляд відомих методів вимірювання. Найпоширенішим методом детектування ЯКР є використання аналогового LC генератора. Він використовується у схемах автодинного детектора резонансу [2]. Схему ЯКР термометра на базі LC генератора наведено на рис. 1.

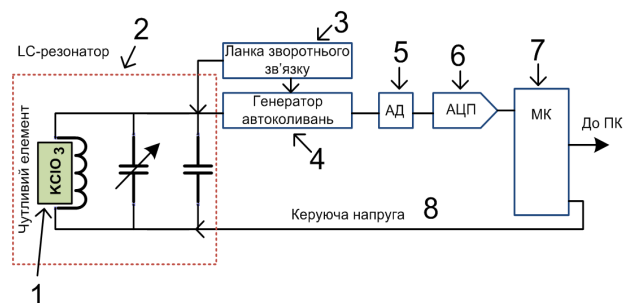


Рис. 1. Схема ЯКР термометра на базі LC генератора (1 – чутливий елемент, 2 – LC – резонатор, 3 – ланка зворотного зв'язку, 4 – генератор автоколивань, 5 – амплітудний детектор, 6 – аналого – цифровий перетворювач, 7 – мікропроцесор, 8 – керуюча напруга)

Принцип роботи цієї схеми аналогічний до принципу роботи гетеродинного індикатора резонансу. Чутливий елемент KClO_3 , у вигляді порошку чи монокристала поміщається в індуктивну котушку. LC генератор задає коливання відповідної частоти. Переналаштування частоти забезпечується зміною ємності LC контура. Для цього використовується варикап (варистор), на який подається нова керуюча напруга (головна ланка зворотного зв'язку) з мікропроцесора (МК). Коли система і відповідна котушка LC контура працюють у резонансному режимі з чутливим елементом, відбувається зменшення амплітуди коливань системи, яку фіксує амплітудний детектор (АД). Це явище зумовлене тим, що з переходом ядер ^{35}Cl на вищий енергетичний рівень відбувається поглинання енергії від коливального контура [8]. Результати вимірювання амплітуди і частоти подаються на мікропроцесор. При зміні температури змінюється резонансна

частота чутливого елемента, що призводить до зміни амплітуди коливань коливального контура або системи. Цю зміну фіксує амплітудний детектор і дані передаються на мікропроцесор. Мікропроцесор, обробивши ці дані, змінює керуючу напругу, щоб налаштувати коливальний контур на нову резонансну частоту.

Основні недоліки схеми ЯКР термометра на базі LC генератора:

1. Нестабільність у часі параметрів коливань.
2. Чутливість до впливу довкілля.
3. Конструктивна складність.
4. Високий рівень шумів.
5. Наявність нелінійних спотворень, зумовлених використанням варисторів (варикапів).

Загалом ці недоліки типові для всіх аналогових LC генераторів. Тому в багатьох галузях широкого застосування набули генератори на основі цифрових систем.

Основною метою роботи є аналіз можливості використання цифрового синтезатора для побудови ЯКР термометра.

Прямий цифровий синтез. Прямий цифровий синтез (DDS) – порівняно новий метод синтезу частоти, який з'явився в 70-х роках минулого століття. Всі методи синтезу доступні розробникам вже десятиліття, але тільки останнім часом на DDS звернуто пильну увагу. Поява дешевих мікросхем повних DDS і зручних засобів розроблення робить сьогодні їх привабливими для різних сфер застосування.

DDS унікальні своєю цифровою визначеністю: сигнал, згенерований DDS, синтезується з притаманною цифровим системам точністю. Частота, амплітуда і фаза сигналу в будь-який момент часу відомі та підконтрольні. Єдиним елементом, який володіє властивістю аналоговим схемам нестабільністю, є цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП). Все це є причиною того, що останнім часом DDS витісняють звичайні аналогові синтезатори частот (наприклад, RLC контур).

Основні переваги DDS:

1. Цифрове управління частотою і фазою вихідного сигналу.
2. Дуже висока роздільна здатність за частотою і фазою.
3. Екстремально швидкий перехід на іншу частоту (фазу), переналаштування частоти без розриву фази, без викидів та інших аномалій, зв'язаних з часом встановлення.

4. Архітектура, яка ґрунтується на DDS, через малий крок переналаштування за частотою, виключає необхідність використання точного підлаштування опорної частоти, а також забезпечує можливість параметричної температурної компенсації.

5. Цифровий інтерфейс дає змогу легко реалізувати мікроконтролерне управління.

6. Для квадратурних синтезаторів наявні DDS з I і Q виходами, які працюють узгоджено.

Частотна роздільна здатність DDS становить сотні й навіть тисячні частки герца при вихідній частоті близько десятків мегагерц. Така роздільна здатність недоступна для інших методів синтезу. Іншою характерною особливістю DDS є дуже висока швидкість переходу на іншу частоту.

Як видно з представлених характеристик, DDS являють собою одну з найкращих схем для реалізації ЯКР термометра.

Метод побудови ЯКР термометра на основі прямого цифрового синтезу. Як вказано вище, у наш час найбільшого поширення набули цифрові схеми прямого цифрового синтезу. Схема ЯКР на основі DDS представлена на рис. 2.

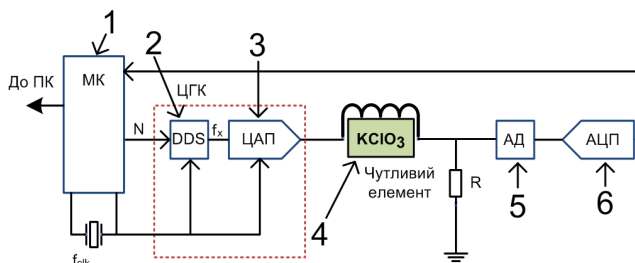


Рис. 2. Схема ЯКР на основі DDS

(1 – мікроконтролер, 2-DDS, 3-цифро-аналоговий перетворювач, 4-чутливий елемент, 5-амплітудний детектор, 6- аналого-цифровий перетворювач)

Управління і взаємодія з персональним комп'ютером (ПК) може здійснюватись за допомогою мікроконтролера (МК). DDS формує синусоїдний сигнал у цифровому вигляді заданої частоти. Цю частоту задає мікроконтролер. Оскільки резонанс хлорату калію відбувається на частоті (28 ± 1) МГц, то потрібно використовувати високошвидкісний ЦАП (частота дискретизації повинна бути в десятки, сотні разів більша, ніж частота резонансу.) Роботу ЦАП, DDS і МК синхронізує зовнішній кварцовий резонатор стабільної частоти (f_{clk}), що забезпечує високу

точність роботи системи в часі. Для забезпечення належної чутливості колювання на виході ЦАП підводиться до термочутливої речовини KClO_3 за допомогою RL ланки (як і у випадку гетеродинної схеми, описаної вище). АД визначає амплітуду колювань, яка подається на МК. У разі зміни температури МК на основі одержаних даних переналаштовує частоту синтезатора і забезпечує роботу системи на резонансній частоті. Як і у випадку гетеродинної схеми, функція МК полягає у забезпеченні глобального зворотного зв'язку, тобто МК виконує роль слідкуючої системи.

Висновки. Здійснено огляд і проаналізовано відомі методи ЯКР детекції, запропоновано структуру ЯКР на базі DDS. Цей метод побудови ЯКР термометрів може використовуватись у сучасних метрологічних системах, оскільки він має такі переваги порівняно з аналоговим методом побудови:

1. Очікується суттєве зменшення впливу шумів, що є основним джерелом похибок наявних систем.
2. Стабільна форма сигналу.
3. Вища точність частоти.
4. Спрощується будова ЯКР термометра, що відкриває можливість його виготовлення як частково інтегральної схеми (котушку індуктивності замінити неможливо).

5. Оскільки частота задається з високою точністю, то в схемі не використовується частотомір.

Наведені висновки свідчать про доцільність використання прямого цифрового синтезу для побудови ЯКР термометра та подальші можливості його удосконалення.

1. Dehmelt H.G. & Kruger H. *Kurze Originalmitteilungen. Kernquadrupolfrequenzen in festem Diehloräthylen. Naturwiss.* 37, 111-112. 1950. 2. Гречишкін В.С., Шнилевой А.А. Косвенные методы изучения ядерных квадрупольных взаимодействий в твердых телах // *Успехи физических наук.* –1996. – Т. 166, № 7. 3. Bryan H. Suits. *Nuclear Quadrupole resonance spectroscopy* // *Physics Department, Michigan Technological University, Houghton, MI, USA.* 2005. 4. Гречишкін В.С. Ядерный квадрупольный резонанс // *Успехи физических наук.* – 1959. – Т. LXIX, вып. 2. – С. 189–216. 5. Joel B. Miller and Geoffrey A. Barrall. *Explosives Detection with Nuclear Quadrupole Resonance. American Scientist.* – 2005. – Vol. 93. –С. 50–57. 6. Bayer H. *Zur Theorie der Spin-Gitterrelaxation in Molekülkristallen. Z. Physik* 130, 227–238. 1951. 7. Dean C. and Pound R.V. *The Temperature Dependence of the Chlorine Quadrupole Coupling in Solid Benzene Compounds. J. Chern. Phys.* 20, 195. 1952. 8. Леновенко А.М. Ядерно-квадрупольный резонансный термометр ЯКРТ-5М. – Львів, 2007.

УДК 536.532

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВІДНОВЛЕННЯ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ

Ї Фединець Василь, 2013

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра автоматизації теплових та хімічних процесів,
Львів, вул. С. Бандери, 12, 79013, Україна.

Проведено експериментальні дослідження коефіцієнта відновлення залежно від конструктивних особливостей термоперетворювача і параметрів газового потоку.

Проведено экспериментальные исследования коэффициента восстановления в зависимости от конструктивных особенностей термопреобразователя и параметров газового потока.

In the article experimental researches of coefficient of renewal are conducted depending on the structural features of receivers of temperature and parameters of gas stream.

Вступ. Під час проведення досліджень процесів тепломасообміну і в області газової динаміки необхідно вимірювати температуру газового потоку, що рухається зі швидкістю 50 м/с і більше. Для таких випадків необхідно враховувати як впливний чинник часткове гальмування потоку в зоні розміщення термоперетворювача (ТП), що викликає додаткове нагрівання його робочої частини. Нагрівання ТП і його температура залежать не тільки від фізичних властивостей і стану руху газового потоку, але також і від його власних властивостей.

У разі обтікання твердого тіла, введенного в швидкісний газовий потік, повне гальмування може відбуватися за умови, що газ набігає на тіло в напрямку, перпендикулярному до його поверхні. За таких умов гальмування являє собою процес адіабатного стискування і реально можливо це в критичній точці – точці розгалуження газу. В окремих точках біля поверхні тіла гальмування газу є неповним і відбувається під дією сил тертя [1,2]. Тоді температура T_n ТП буде меншою від температури гальмування T_0 . Температуру T_n називають *рівноважною* температурою. Для оцінки цього процесу вводиться поняття *коефіцієнта гальмування*, або *коефіцієнта відновлення* r ТП. Коефіцієнт відновлення характеризує ступінь відновлення ентальпії при гальмуванні потоку на поверхні ТП (ступінь відновлення температурного еквівалента кінетичної енергії газу). Складову похибки, зумовлену перетворенням частини кінетичної енергії рухомого газу на теплову в пристінному шарі, що оточує чутливий елемент, називають швидкісною складовою похибки вимірювання температури газового потоку.

Швидкісна складова похибка $\Delta t_{\text{шв}}$ вимірювання температури газового потоку визначається рівнянням

через коефіцієнт відновлення і швидкість потоку поблизу його чутливого елемента [3]:

$$\Delta t_{\text{шв}} = (T_n - T_0) = (1 - r) \frac{V^2}{2C_p} \quad (1)$$

де V – швидкість газового потоку; C_p – коефіцієнт теплоємності газового потоку за постійного тиску.

Аналіз (1) показує, що швидкісна складова похибки залежить від швидкості газового потоку в зоні чутливого елемента і коефіцієнта відновлення ТП, який, своєю чергою, також залежить від швидкості потоку і конструктивних та геометричних параметрів ТП.

Отже, оптимізація швидкісної складової похибки повинна передбачати визначення способів і засобів, що забезпечують постійність коефіцієнта відновлення і штучного зменшення швидкості обтікання чутливого елемента порівняно зі швидкістю потоку, що набігає.

В експериментальній практиці для штучного зменшення швидкості обтікання чутливого елемента найпоширеніші ТП з камерами гальмування [3].

Значення коефіцієнта відновлення в загальному випадку є функцією критеріїв Маха M , Рейнольдса Re і Прандтля Pr та показника адіабати k газового потоку [4]:

$$r = f(M, Re, Pr, k) \quad (2)$$

Тому під час конструювання ТП необхідно вибрати такі конструктивні розміри камери гальмування, які забезпечували б мінімальну зміну коефіцієнта відновлення r ТП в усьому діапазоні зміни чисел M і Re , тобто $\Delta r \rightarrow 0$. У разі забезпечення таких умов швидкісна складова похибки $\Delta t_{\text{шв}}$ матиме мінімальне значення для цих умов вимірювання.

Мета роботи. Експериментальне дослідження зміни коефіцієнта відновлення залежно від конструктивних особливостей ТП і параметрів газового потоку.

Виклад основного матеріалу. Досліджено на визначення коефіцієнта відновлення і його стабільність дві конструкції перетворювачів термоелектричних типу ТІР-0182 і ТІР-0182-01 з поздовжнім обтіканням потоком, які призначені для вимірювання температури продуктів згоряння вуглеводневих палив під час випробування виробів на стендах. Для вимірювання розроблено два виконання конструкції з поздовжнім обтіканням потоком [5]. Конструкції відрізняються між собою за виходом газового потоку із камери гальмування. В конструкції ТІР-0182 газ виходить через два бокових отвори в стінках екрана в кінці камери гальмування. В іншій конструкції – через зазори між ізоляційною трубкою і стінкою екрана. На

рис. 1 зображено загальний вигляд термоперетворювача типу ТІР-0182.

Експериментальні дослідження проведено в аеродинамічній трубі з відкритою робочою частиною з дозвуковим соплом, що забезпечувало значення числа M в діапазоні від 0,1 до 0,6 в потоці повітря з температурою навколишнього середовища від 15 до 25 °С. Проведення досліджень за такої температури дає змогу отримувати результати, практично вільні від похибок, зумовлених тепловідведенням через теплопровідність і випромінювання. Необхідно також враховувати, що під час досліджень в надзвуковому потоці газу обов'язково треба здійснювати попереднє нагрівання газу, щоб запобігти його конденсації на виході із сопла. Для цього випадку треба також передбачати всі заходи для зменшення теплових втрат.

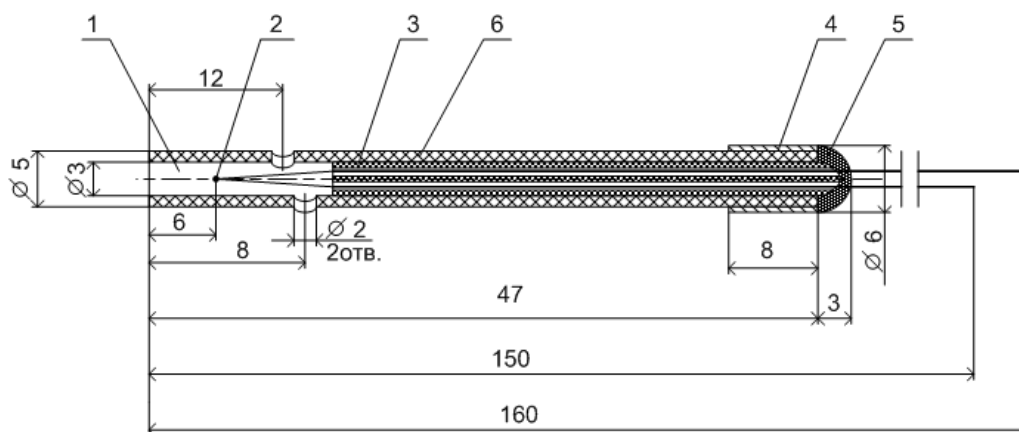


Рис. 1. Загальний вигляд термоперетворювача типу ТІР-0182: 1 – камера гальмування; 2 – з'юст термопар; 3 – електроізоляційна трубка; 4 – металева втулка; 5 – термоцемент Ф50; 6 – захисний корпус

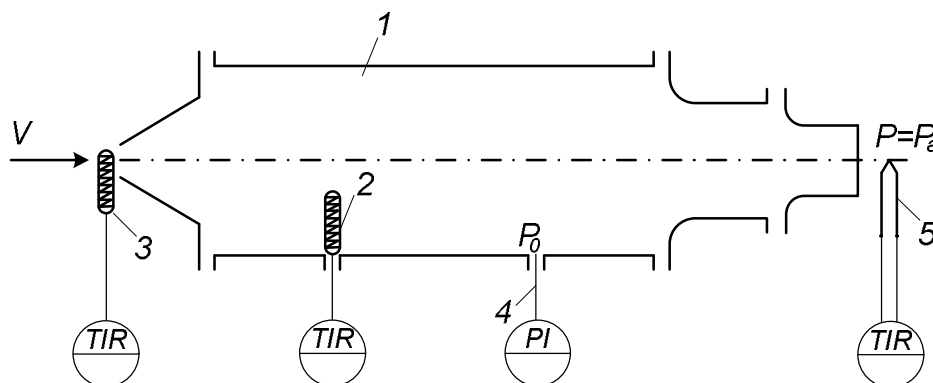


Рис. 2. Вимірювальна установка для визначення коефіцієнта відновлення ТП:
1 – аеродинамічна труба з відкритою робочою частиною; 2,3 – платинові термоперетворювачі опору;
4 – манометр для вимірювання повного тиску; 5 – досліджуваний ТП

Схему вимірювальної установки для визначення коефіцієнта відновлення зображено на рис. 2.

Коефіцієнт відновлення визначено за відомою залежністю [3]:

$$r = \frac{T_n - T}{T_0 - T} = \frac{T_n - T}{V^2 / 2C_p}. \quad (3)$$

Точність визначення коефіцієнта відновлення залежить від правильності вимірювання температури гальмування T_0 і статичної температури T . Попередньо проградуйований досліджуваний ТП встановлено по осі сопла на віддалі 40...50 мм від його зрізу. Для таких умов статичний тиск практично відповідає атмосферному, що полегшує визначення швидкості потоку в місці розміщення ТП. Температуру гальмування виміряно в форкамері, де потік практично повністю загальмовується. Вимірювання здійснено за допомогою попередньо проградуйованого платиного ТП опору 2. Похибка вимірювання температури гальмування не перевищувала $\pm 0,1$ К. Вимірювання статичної температури здійснено також попередньо проградуйованим платиновим ТП опору і похибка вимірювання не перевищувала $\pm 0,1$ К.

Швидкість газового потоку визначено за статичним тиском у місці встановлення ТП і повним тиском у форкамері, який визначався манометром повного тиску 4, встановленим на стінці форкамери. Число M знайдено за таблицями через відношення статичного і повного тиску $\frac{P}{P_0}$.

Дослідження коефіцієнта відновлення проведено в потоці повітря зі швидкістю від 0,1 до 0,6 M і числами Re , віднесеними до діаметра ТП, від $1,05 \cdot 10^5$ до $6,3 \cdot 10^5$.

Результатами експериментальних досліджень (рис. 3) встановлено, що в діапазоні чисел M від 0,1 до 0,6 (діапазон зміни для ТП типу ТІР-0182) коефіцієнт відновлення змінюється в невеликих межах і практично не залежить від відношення площ вхідних $F_{вх}$ і вихідних ηf отворів, через які газовий потік надходить у в камеру гальмування і витікає з неї. Для ТІР-0182 $\frac{\eta f}{F_{вх}} = 0,125$, а для ТІР-0182-01 $\frac{\eta f}{F_{вх}} = 0,135$.

Встановлено також, що для поздовжнього обтікання газовим потоком коефіцієнт відновлення практично не залежить від чисел M і Re для оптимальних значень $\frac{\eta f}{F_{вх}}$ від 0,25 до 0,125.

Як вказано вище, дослідження проведено за кімнатної температури газового потоку і практично за відсутності теплових втрат. Тому досліджено також вплив температури потоку на зміну коефіцієнта відновлення ТП. Дослідження проведено в температурному діапазоні від 300 до 600 $^{\circ}\text{C}$. Результати досліджень показано на рис. 4. Встановлено, що за рахунок різниці температур газового потоку і стінки камери зростають теплові втрати чутливого елемента ТП і коефіцієнт відновлення дещо зменшується. Так, при $M=0,4$ в потоці газу з температурою навколишнього середовища коефіцієнт відновлення для ТП типу ТІР-0182 становить 0,975 згідно з рис. 3, то при температурі потоку 600 $^{\circ}\text{C}$ він зменшується до 0,96.

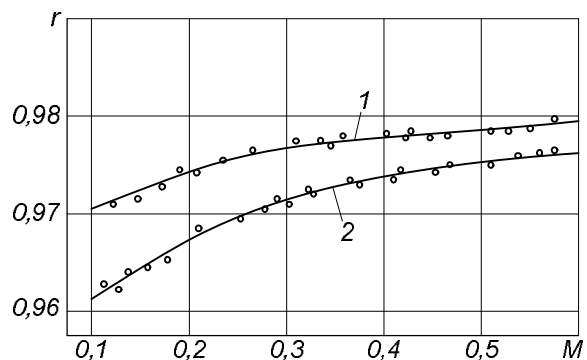


Рис. 3. Експериментальна залежність коефіцієнта відновлення від числа M :

1 – для ТІР-0182-01; 2 – для ТІР-0182

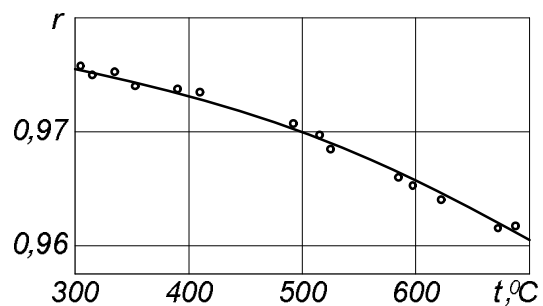


Рис. 4. Експериментальна залежність зміни коефіцієнта відновлення для ТІР-0182 від температури газового потоку

Отже, результатами досліджень встановлено, що конструкція ТП забезпечує постійність значень коефіцієнта відновлення у діапазоні заданих чисел M і відповідно постійність швидкісної складової похибки.

Висновки. Експериментально досліджено зміни коефіцієнта відновлення залежно від конструктивних особливостей ТП і параметрів газового потоку. Встановлено, що коефіцієнт відновлення змінюється в невеликих межах і практично не залежить від відношення площ вхідних F_{ax} і вихідних nf отворів, через які газовий потік надходить у камеру гальмування і витікає з неї. Це означає, що за правильної експлуатації ТП забезпечується постійність швидкісної складової похибки, тому немає необхідності перевіряти її в процесі експлуатації, її визначають тільки під час розроблення конструкції в умовах розробника і періодичних випробувань в умовах заводу-виготовлювача.

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Герман Шлихтинг; пер. с нем. Г.А. Вольперта под ред.

Л.Г. Лойцянского. – М.: Наука, 1974. – 711 с. 2. Мак-Адамс В. Х. Теплопередача / Вильям Х. Мак-Адамс; пер. с англ. Б.Л. Маркова. – М.: Металлургиздат, 1961. – 686 с. 3. Фединець В.О. Оптимізація газодинамічної підсистеми термоперетворювачів для вимірювання температури газових потоків / Василь Фединець // Вісник Нац. у-ту “Львівська політехніка “Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація” 2009. – № 659. – С. 68–73. 4. Жукаускас А.А. Теплообмен в высокотемпературном потоке газа / Альгирдас Альфонсович Жукаускас. – Вильнюс: Минтис, 1972. – 231 с. 5. Фединець В.О. Розрахунок температури газового потоку за показами термонпар / В.О. Фединець // Методи та прилади контролю якості. – 2006. – № 16. – С. 61 – 64.

УДК 536.5+537.63+537.613

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РІВНОМІРНОСТІ НАГРІВУ ТА ТОЧНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НАНОЧАСТИНОК МАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ УСТАВ ДЛЯ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

© Самченко Ростислав, Стадник Богдан, 2013

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
вул. С. Бандери 12, 79013, Львів, Україна. e-mail: rostyslav.samchenko@gmail.com

Подано загальну структуру устави для вимірювання теплових характеристик композитів на основі магнітних наночастинок. За допомогою моделювання показано залежність нерівномірності розподілу магнітного поля всередині нагрівного навою від його довжини. Запропоновано волоконно-оптичний перетворювач, як можливе вирішення проблеми вимірювання температури зразка за умов дії змінного поля навою.

Представлено общую структуру установки для измерения тепловых характеристик композитов на основе магнитных наночастиц. С помощью моделирования показана зависимость неравномерности распределения магнитного поля внутри нагревательной катушки от ее длины. Предложен волоконно-оптический преобразователь в качестве решения проблемы измерения температуры образца под действием радиочастотного поля катушки.

In this work common structure of device for thermal properties measurement of magnetic nanoparticles based composites is presented. By means of modeling higher magnetic field uniformity for longer heating coils was shown. Fluorescence-based fiber optic sensor as possible solution of sample temperature measurement problem during high AC magnetic field heating is proposed.

Вступ. Магнітна гіпертермія – це новий метод лікування раку, що ґрунтується на нагріванні уражених онкологічним захворюванням тканин за допомогою магнітних наночастинок. Наночастинок магнітних матеріалів та їх сполук, або так звані магнітні

наночастинок (МНЧ), є наступним кроком науки на шляху до створення медичних нанороботів. Розмір МНЧ, що містяться в біосумісній оболонці з таких речовин, як напр. декстран, полівініловий спирт, фосфоліпіди тощо, дає змогу вводити їх у взаємодію з

біологічними субстанціями. Такі магнітні нанороботи можливо також провести по кровеносних судинах за допомогою градієнта зовнішнього магнітного поля [1].

Сьогодні широко досліджують композити на основі гідрогелів з магнітними наночастинками. Гідрогелі – це полімери, які можуть абсорбувати велику кількість рідини, не розчиняючись та не змінюючи своєї структури. Їх застосовують за медичним призначенням завдяки їхнім фізичним властивостям, схожим на властивості живих тканин, та високому рівню біосумісності [1]. Компонування магнітних наночастинок, які нагріваються змінним магнітним полем, з теплочутливими гідрогелями дає можливість здійснювати адресну доставку ліків у організмі людини, тобто поєднати методи гіпертермії та хіміотерапії. Численні дослідження показали, що при цьому збільшується ефективність лікування раку в 1,5–2,5 рази [2].

В ідеалі лікування методом гіпертермії повинно вибірково знищувати клітини пухлини, не пошкоджуючи навколишніх тканин [3]. Нагрів до цільової температури спричиняє певну клітинну деактивацію дозозалежно. Хоча графіки залежності дії на тканину термальної дози візуально подібні до графіків дії радіаційної або дози лікарського препарату, критична межа теплової деактивації клітин поки що невідома [4]. Ракові тканини не мають розвинутої судинної системи, відтак їх тепловий опір більший, ніж здорових тканин, тому вони не можуть так ефективно охолоджуватись. Клітини пухлини, нагріті до температури близько 42 °C, починають відмирати, тоді як здорові клітини здебільшого залишаються неушкодженими до 48 °C [5, 6].

Певна термальна доза протягом деякого часу спричиняє відмирання ракових клітин, яке поділяється на два механізми: апоптоз та некроз. На відміну від некрозу, апоптоз є природним нетоксичним послідовним відмиранням клітини. Відомо, що некроз відбувається за вищих температур, ніж апоптоз [7]. На основі численних досліджень науковців світу загальноприйнято 43 °C за максимальну безпечну температуру гіпертермії [7, 8].

Мета дослідження. Як відомо, існує суворя температурна межа гіпертермії, нагрів вище від якої може пошкодити тканини тіла людини. Тому необхідно проводити лабораторні випробування таких композитів, перед їх клінічним застосуванням, на спеціальних лабораторних уставах, що дають можливість визначити теплові характеристики цих матеріалів. У одній із попередніх робіт [13] проаналізовано наявні

устави. Сьогодні створюються все новіші конструкції таких пристроїв [1, 14–16]. Проте деякі аспекти термометрії, проектування навою та теплової ізоляції зразка не завжди беруться до уваги. У статті розглянуто такі важливі метрологічні аспекти проектування устави для визначення теплових характеристик композитів на основі магнітних наночастинок, як точне вимірювання температури та рівномірний розподіл змінного магнітного поля по дослідному зразку.

Властивості МНЧ. Залежно від розмірів, структури та властивостей МНЧ можна поділити на [1]: однодоменні, багатодоменні та суперпарамагнетичні. Змінне магнітне поле спричиняє нагрів МНЧ за допомогою трьох основних механізмів [1]: втрат на гістерезис, релаксації Нееля та Броуна. Нагрів багатодоменних МНЧ в змінному магнітному полі спричинений переважно втратами на гістерезис (намагніченість відстає у часі від прикладеної напруженості магнітного поля). Суперпарамагнітні МНЧ – це малі (діаметром менше за 20 нм для Fe_3O_4) однодоменні МНЧ, втратами на гістерезис яких можна знехтувати через дуже вузьку петлю гістерезису, тому потужність виділяється насамперед завдяки релаксації. Дія вихрових струмів також нехтовно мала через малі розміри частинок [9]. Нагрів залежить від розмірів, форми, складу, концентрації та в'язкості середовища, у якому МНЧ розчинені, а також від значення та частоти прикладеного магнітного поля. Потужність, яка витрачається на створення певної кількості тепла у грамі магнітного матеріалу, можна розрахувати за калориметричним методом. Така кількість тепла називається питомим поглинанням (SAR – *specific absorption rate*) [1], або питомим поглинанням потужності (SPA – *Specific Power Absorption*) [10].

Потужність магнітного поля, розсіяну МНЧ у формі кулі, можна описати спрощеним рівнянням [9]:

$$P = \mu_0 c_0 H_0^2 f \frac{2pft}{1 + (2pft)^2}, \quad (1)$$

де μ_0 – магнітна проникність вакууму $4\pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{A}^{-2}$; c_0 – залежна від магнітного поля магнітна проникність; H_0 та f – амплітуда та частота прикладеного магнітного поля, відповідно; t – діючий час релаксації, значення якого лежить в проміжку від 10^{-9} to 10^{-6} для МНЧ магнетиту (Fe_3O_4) розмірами від 1 до 20 нм [12].

За умов калориметричних вимірювань приріст температури через час Δt можна розрахувати за формулою:

$$DT = \frac{PDt}{r c_p}, \quad (2)$$

де r та c_p – відповідно густина та питома теплоємність композиту.

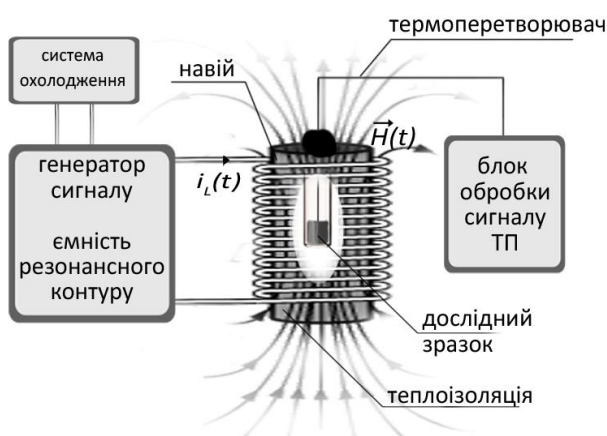


Рис. 1. Загальна структура устави для дослідження теплових характеристик композитів на основі МНЧ

Загальна структура устави. Устави для дослідження теплових характеристик композитів на основі МНЧ дають можливість визначити питома поглинання потужності (SAR), прикладаючи магнітне поле певної частоти та амплітуди та вимірюючи температуру композиту при цьому. Такі системи зазвичай містять такі базові елементи (рис.1):

- резонансний контур, що складається з ємності та навою, який створює магнітне поле;

- генератор вхідного сигналу для збудження коливань у резонансному контурі;
- система охолодження;
- система вимірювання температури: термоперетворювача та блока обробки його сигналу;
- теплова ізоляція дослідного зразка.

Аспект рівномірного розподілу магнітного поля. Як випливає з формули (1), амплітуда прикладеного змінного магнітного поля сильно впливає на потужність, що розсіюється МНЧ. Для забезпечення рівномірного нагріву дослідного зразка навій повинен бути належно спроектованим для забезпечення рівномірного розподілу магнітного поля. Miloš Beković [3, 16], V. Nemkov [17] у своїх роботах описують успішні конструкції навоїв.

За допомогою моделювання методом скінченних елементів, використовуючи програмний пакет Comsol, розраховано розподіл магнітного поля, що генерується навоєм (соленоїдом), коли по ньому протікає синусоїдальний струм з амплітудою 150 А. Як відомо [20], рівномірність магнітного поля всередині соленоїда залежить від відношення його довжини до ширини і є максимальною для навою нескінченної довжини. На рис. 2 продемонстровано розподіл магнітного поля та його вектори для навоїв на 11 (ліворуч) та на 21 (праворуч) витків, які намотані з мідної трубки діаметром 6,35 мм з кроком 1 мм. Як видно, вектор напруженості магнітного поля для обох навоїв є паралельним до напрямку намотування.

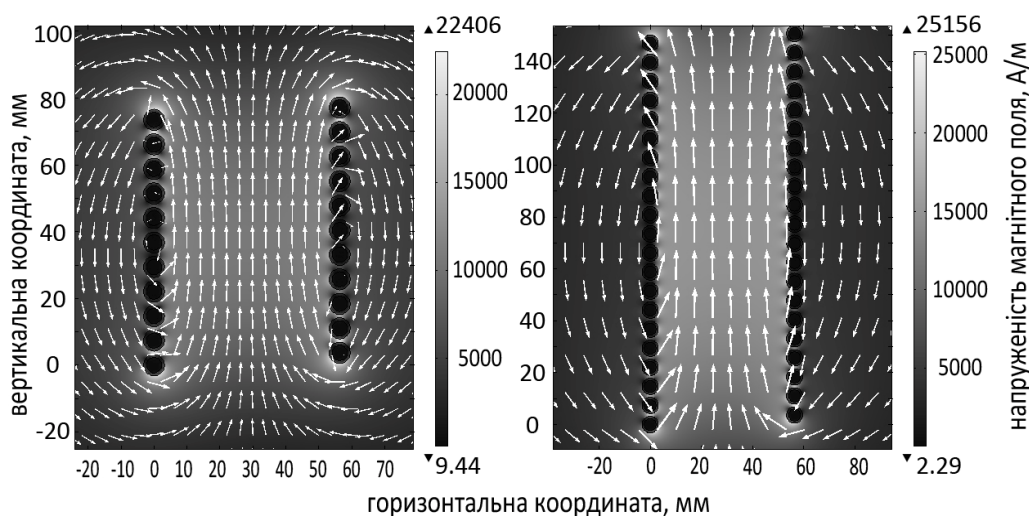


Рис. 2. Моделі розподілу магнітного поля для навоїв на 11 витків (ліворуч) та 21 виток (праворуч)

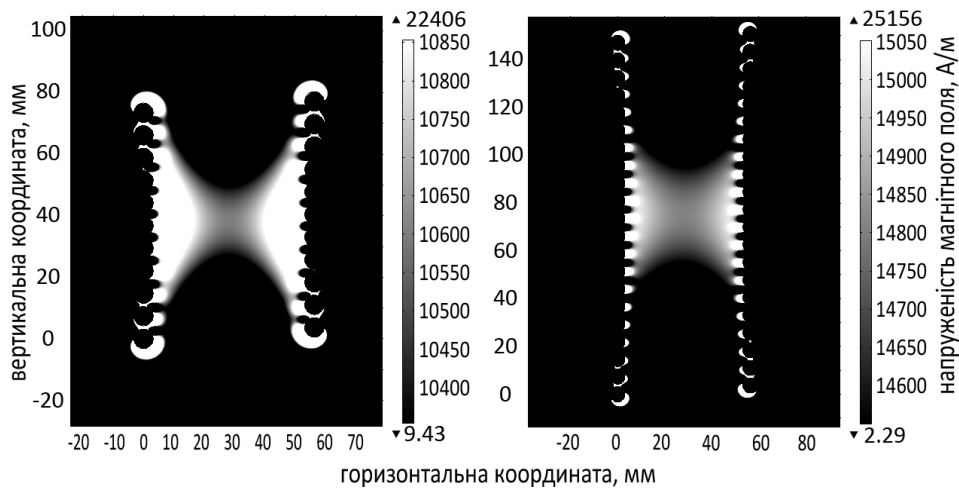


Рис. 3. Моделі рівномірності магнітного поля для навоїв на 11 витків (ліворуч) та на 21 виток (праворуч).

Діапазон відображення напруженості магнітного поля ($H_{centr} - 250 \text{ A/m}$; $H_{centr} + 250 \text{ A/m}$),

де H_{centr} – напруженість магнітного поля у центрі навою

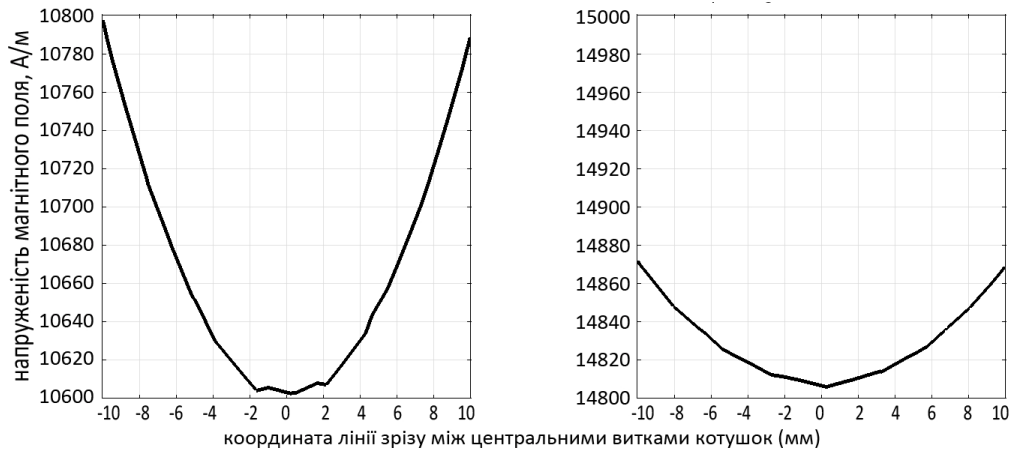


Рис. 4. Профіль розподілу магнітного поля у зоні 20 мм навколо центра навою на 11 витків (ліворуч) та на 21 виток (праворуч) (всередині 6-го та 11-го витків відповідно)

На рис. 3 діапазон відображення магнітного поля змінено з $(H_{min}; H_{max})$ на $(H_{centr} - 250 \text{ A/m}; H_{centr} + 250 \text{ A/m})$, де H_{centr} – значення магнітного поля у центрі навою. Профіль розподілу магнітного поля вздовж горизонтальної лінії, проведеної між центральними витками навою (шостим та одинадцятим відповідно), зображено на рис. 4. Як видно, варіація напруженості магнітного поля у зоні 20 мм навколо центра соленоїда $\Delta H_{11} = 195 \text{ A/m}$ для першого навою та $\Delta H_{21} = 65 \text{ A/m}$ для другого. Отже, довший навій має помітну перевагу в аспекті рівномірності магнітного поля.

Вимірювання температури. Високе значення напруженості магнітного поля спричиняє похибки

вимірювань у разі використання традиційних термометрів, таких як термоелектричні та терморезистивні перетворювачі, зумовлюючи електромагнітні завади та додаткове нагрівання металевих частин перетворювача.

Волоконно-оптичні перетворювачі температури відомі своєю нечутливістю до електромагнітних завад в області вимірюваного об'єкта. Для точкових вимірювань температури використовують волоконно-оптичні ґратки Бреґа, резонатори Фабрі–Перо, перетворювачі на основі явища забороненої зони напівпровідників (SCBG – semiconductor band gap technology) та на основі явища флюоресценції. Головні переваги та недоліки застосування вищеперелічених термоперетворювачів у цій роботі представлені в таблиці, яка ґрунтується на роботі [19].

**Переваги та недоліки найпоширеніших волоконно-оптичних перетворювачів
для точкового вимірювання температури**

	Напівпровідникові ВОП	ВОП на основі явища флюоресценції	Гратки Брегга	Інтерферометричні
Точність	~ 0,1 К	~ 0,1 К	~ 0,1 К	~ 0,5К
Спектральна чутливість	0,1...0,4нм/К		~ 0,01 нм/К	~0,07 нм/К
Діапазон	-40...250°C	-45...200°C	-70...300°C	-50...200°C
Переваги	мініатюрні конструкції, висока точність, малий час реакції, передача сигналу на вел. відстані	мініатюрні конструкції, висока точність, низька вартість, малий час реакції	мініатюрні конструкції, можливість квazірозподілу, вимірювання, передача сигн. на вел. відстані	Стабільність характеристик передача сигналу на вел. відстані
Недоліки	ціна вторинної апаратури	обмежена довжина лінії, складність фотореєструвального устаткування	висока чутливість до деформацій, ціна вторинної апаратури	великі габаритні розміри, інерційність, ціна вторинної апаратури

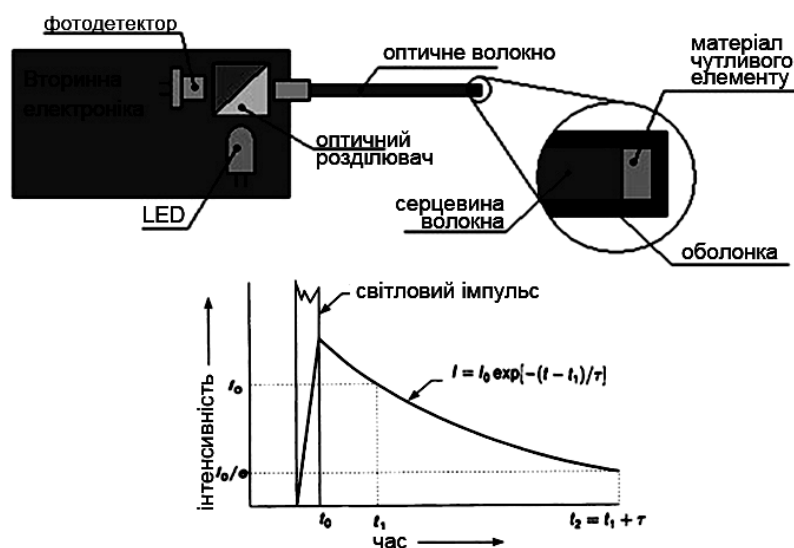


Рис. 5. Структура системи для вимірювання температури на основі явища флюоресценції (згорі)
та графік залежності інтенсивності флюоресцентного світіння матеріалу
чутливого елемента протягом часу (внизу) [18][19]

Як показано в [19], останні мають перевагу за вартістю, оскільки у такій вимірювальній системі не використовується спектрометр як вторинний прилад, а також ці перетворювачі мають можливість створення мініатюрних конструкцій для зменшення впливу на температурне поле вимірюваного об'єкта та достатню точність. Принцип роботи термоперетворювачів на основі явища флюоресценції полягає у температурній залежності тривалості емісії флюоресцентного світіння матеріалу чутливого елемента після збуджу-

вального світлового імпульсу, який передається з вторинного приладу. На рис. 6 зображено структуру такого вимірювального приладу, а також залежність інтенсивності флюоресцентного світіння чутливого елемента протягом часу.

Висновок. Виконуючи лабораторні дослідження композитів з МНЧ, перед їх клінічним застосуванням необхідно з високою точністю визначати їх параметри, такі як температура нагрівання, питоме поглинання

потужності. Використання мініатюрних волоконно-оптичних перетворювачів дає змогу ліквідувати вплив електромагнітних завад на термоперетворювач, який перебуває в середовищі високої напруженості магнітного поля, під час вимірювання температури дослідного зразка композиту всередині навою. Також, для забезпечення точності калориметричних вимірювань, необхідно мінімізувати теплопередачу між дослідним зразком та навою та навколишнім середовищем, забезпечивши відповідну теплову ізоляцію.

Через квадратичну залежність потужності, що розсіюється МНЧ у змінному магнітному полі, від амплітуди його напруженості, як видно з формули (1), необхідно належно проектувати нагрівний навій, щоб зменшити нерівномірність напруженості магнітного поля у зоні нагрівання зразка.

Подальші дослідження будуть націлені на реалізацію експериментальної устави для дослідження температурних характеристик композитів на основі МНЧ, яка матиме можливість регулювання частоти та напруженості магнітного поля для проведення дослідів з реальними об'єктами.

1. Tabatabaei S.N. *Magnetic Nanoparticles Encapsulated in Hydrogel as Hyperthermic Actuators for Microrobots Designed to Operate in the Vascular Network* / Tabatabaei, Seyed Nasr // *Intern. Conf. on Intelligent Robots and Systems* – 2009. – С. 546–551. 2. Русаков С.В. *Гипертермия в онкологии: неизвестное об известном* // Веб-сайт "Московский врач" [Електронний ресурс] 2010. – Режим доступу: http://mv-online.ru/view_page.php?page=63&ID=0. 3. FEM Thermal Calculation of the Warming of Magnetic Fluid Exposed to Alternating Magnetic Field/ Beković Miloš [Електронний ресурс] // XII International PhD Workshop OWD – 2010. Режим доступу: <http://mechatronika.polsl.pl/owd/pdf2010/221.pdf>. 4. Magnetic Fluid hyperthermia (MFH): Cancer treatment with AC magnetic Field induced excitation of biocompatible superparamagnetic nanoparticles / Jordan A., Scholz R., Wust P., Fähling H., Felix R. // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 201. – 1999. – P. 413–419. 5. Blue L. *Fluid Dynamics and Heating of Magnetic Nanoparticles in Simulated Blood Vessels*/Lauren Blue. – 2009. 6. Maenosono S. *Theoretical Assessment of FePt Nanoparticles as Heating Elements for Magnetic Hyperthermia* / Maenosono // *IEEE Transactions on Magnetics*. – Vol.42(6). – 2006. – С. 1638–1642. 7. Roizin-Towle L. *The response of human and rodent cells*

to hyperthermia / Roizin-Towle, Pirro // *International Journal of Radiation Oncology* – Vol. 20(4). – 1992. – С. 751–756. 8. Harmon B.V. *Cell death induced in a murine mastocytoma by 42-47 degrees C heating in vitro: evidence that the form of death changes from apoptosis to necrosis above a critical heat load.* / Harmon B.V. // *International Journal of Radiation Biology*. – Vol 58(5). – 1990. – С. 845–858. 9. Rosensweig R.E. *Heating magnetic fluid with alternating magnetic field* / Rosensweig R.E. // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – Vol. 252. – 2002. – С. 370–374. 10. *Magnetic Hyperthermia With Fe₃O₄ Nanoparticles: The Influence of Particle Size on Energy Absorption* / Goya G.F., Lima E., Arelaro A. D., Torres T. // *IEEE Transactions on Magnetics*. – Vol. 44(11). – 2008. – С. 4444–4447. 11. Nadelcu G. *Magnetic Nanoparticles Impact on Tumoral Cells in the Treatment by Magnetic Fluid Hyperthermia* / Nadelcu Gigel // *Journal of Nanomaterials and Biostructures*. – Vol 3(3). – 2008. – С. 103–107. 12. Використання математичних моделей для проведення наближеної оцінки індукційного нагріву феромагнітних наночастинок / Архів доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2012» [Електронний ресурс] / Самченко Р.П. – Одеса, 2012. – Режим доступу: <http://sworld.com.ua/index.php/uk/technical-sciences-112/innovative-technologies-112>. 13. Самченко Р.П. *Теплочутливі композити з феромагнітними наночастинами для медичних цілей (Огляд устав для дослідження теплових характеристик нанокомпозитів)* / Самченко Р.П. // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – 2011. – № 72. – С.142–147. 14. *The next step on Magnetic Hyperthermia research*, – *Nanoscale Biomagnetics*. – 2012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nbnanoscale.com/content/cats/52/InfografiaDefEN.pdf>. 15. *Size dependence of specific power absorption of Fe₃O₄ particles in AC magnetic field*/ Ming Ma, Ya Wu, Jie Zhou, Yongkang Sun // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 268. – 2004. – С. 33–39. 16. Bekovic M. *FEM-based development of measurement system for magnetic fluid characterization* / Bekovic M., Hamler A. // *PRZEGLĄD Elektrotechniczny (Electrical Review)*. – 2011. – R. 87. – NR 3. ISSN 0033-2097. 17. *Design study of induction coil for generating magnetic field for cancer hyperthermia research* / Nemkov V., Ruffini R., Goldstein R., Jackowski J., DeWeese T. L., Ivkov R. // *AMF Life Systems*, 2011. 18. OSENSA Innovations Corp. *Fluorescent Sensor Technology* // OSENSA Innovations

Corp., 2012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.osensa.com/downloads/WP_OSENSA_Fluorescent_Sensor_Technology.pdf. 19. Самченко Р.П. Аналітичний огляд волоконно-оптичних перетворювачів для точкового вимірювання температури медичних нано-

композитів в процесі їх індукційного нагріву / Самченко Р.П., Стадник Б.І. // Електротехнічні та комп'ютерні системи. — Одеса, 2012. — № 06(82). 20. Зильберман, Г.Е. Электричество и магнетизм / Silberman. — М.: Наука, 1979. — 385 с.

УДК 536.31

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАЧІВ РІЗНИЦІ ТЕМПЕРАТУР НА ОСНОВІ ПЛАТИНОВИХ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З ДВОДРОТОВОЮ ЛІНІЄЮ ЗВ'ЯЗКУ

© Олесків Тарас, Яцук Василь, 2013

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації
м. Львів, вул. С. Бандери, 28, taras_oleskiv@ukr.net

Проведено аналітичний огляд відомих методів і засобів метрологічного забезпечення вимірювачів різниці температур. Запропоновано структуру вимірювача різниці температур для сенсорів з дводровою лінією зв'язку з можливістю проведення процедури автоматичного калібрування. Проаналізовано параметри ліній зв'язку.

Проведен аналитический обзор существующих методов и средств метрологического обеспечения измерителей разности температур. Предложена структура измерителя разности температур для сенсоров с двухпроводной линией связи с возможностью проведения процедуры автоматической калибровки. Проанализированы параметры линий связи.

An analytical review of existing methods and means of metrological assurance of measuring temperature difference is conducted. Temperature difference measuring structure for sensors with two-wire line connection with the possibility of automatic calibration procedure is proposed. Parameters of lines connection are analyzed.

Вступ. У наші дні прецизійне вимірювання як температури, так і різниці температур відіграє важливу роль під час контролю багатьох технологічних процесів (випробувань сонячних колекторів, метрологічної перевірки колективних теплолічильників тощо). Аналіз нормативної документації показав, що для метрологічного забезпечення вимірювання різниці температур потрібно вибирати методи і засоби, межа допустимих значень похибки яких не перевищувала б $\Delta_{\text{доп}} \leq \pm 0,1$ К. Провівши огляд чутливих елементів, встановили, що для виконання цієї умови для вимірювання різниці температур найдоцільніше використовувати платинові термоперетворювачі опору завдяки їх високій точності, стабільності в часі, широкому температурному діапазону вимірювання та добрим електричним властивостям, які встановлені європейським стандартом DIN EN 60 751 [2].

Під час побудови як самих вимірювачів різниці температур, так і засобів їх метрологічного забезпечення основними джерелами похибок є вплив залишкових параметрів з'єднувальних ліній, перегрів чутливих елементів вимірювальним струмом, похибка від зміни значення вимірювального струму, адитивна і мультиплікативна складові похибки усього тракту перетворення.

Аналітичний огляд відомих методів і засобів метрологічного забезпечення вимірювачів різниці температур. Сьогодні для вимірювання як температури, так і різниці температур часто використовують платинові термоперетворювачі з характеристикою термоелемента Pt 100 і все більшого поширення набувають сенсори з НСХ Pt 500 і Pt 1000. Застосування сучасних технологій дає змогу виготовляти терморезистивні перетворювачі з підвищеною

Функціональна схема складається з:

- джерела опорної напруги E_0 ;
- двох генераторів струму, побудованих на підсилювачах DA1 і DA2 зі струмозадавальними резисторами;
- диференційного підсилювача DA3, DA4;
- аналого-цифрового перетворювача;
- контролера;
- цифрового відлікового пристрою.

Для автоматичного коригування адитивної складової похибки вимірювача різниці температур використовується метод модуляції вимірювальних струмів,

який реалізують, змінюючи опорну напругу для генератора струму за допомогою перемикача m_1, m_2 .

Інваріантність результату вимірювання до значень вимірювальних струмів забезпечується формуванням опорної для АЦП напруги від ДОН пристрою.

Для проведення процедури автоматичного калібрування вимірювача різниці температур передбачено окремий калібрувальний резистор R_K , який може бути під'єднаний до обох входів пристрою.

Коли замкнуті ключі $S_{11}, S_{12}, S_{21}, S_{22}$, визначається результат вимірювання різниці опорів терморезисторів ΔN_X , як різниця кодів двох результатів перетворення:

$$\begin{cases} N_{X1} = k_{ADC} \left(\frac{p_{m1} E_0 + \Delta_{\Gamma 1}}{k_{ПД} E_0 + \Delta_{ПВ}} k_{m1} \frac{R_{X1} + R_{C1}}{R_{M1}} - \frac{p_{m1} E_0 + \Delta_{\Gamma 2}}{k_{ПД} E_0 + \Delta_{ПВ}} k_{m2} \frac{R_{X2} + R_{C2}}{R_{M2}} \right) \\ N_{X2} = k_{ADC} \left(\frac{p_{m2} E_0 + \Delta_{\Gamma 1}}{k_{ПД} E_0 + \Delta_{ПВ}} k_{m1} \frac{R_{X1} + R_{C1}}{R_{M1}} - \frac{p_{m2} E_0 + \Delta_{\Gamma 2}}{k_{ПД} E_0 + \Delta_{ПВ}} k_{m2} \frac{R_{X2} + R_{C2}}{R_{M2}} \right) \end{cases} \quad (1)$$

$$\Delta N_X = N_{X1} - N_{X2} = \frac{k_{ADC}(p_{m1} - p_{m2})}{k_{ПД}(1 + \Delta_{ПВ}/E_0 k_{ПД})} \cdot \left[\frac{k_{m1}(R_{X1} + R_{C1})}{R_{M1}} - \frac{k_{m2}(R_{X2} + R_{C2})}{R_{M2}} \right]. \quad (2)$$

Оскільки зміна масштабувальних коефіцієнтів тракту перетворення зі зміною умов довкілля та часу може призводити до істотних похибок, то пропонується процедура автокалібрування, яка відбувається за таким алгоритмом. До першого входу під'єднують калібрувальний резистор з точно відомим опором R_K , другий канал закорочується (замкнуті $S_{K11}, S_{K12}, S_{021}, S_{022}$) і отримують показ ΔN_{K1} . Потім, навпаки, до другого входу під'єднується той самий калібрувальний резистор R_K , а перший закорочується (замкнуті $S_{K21}, S_{K22}, S_{011}, S_{012}$) і одержують показ ΔN_{K2} :

$$\begin{cases} \Delta N_{K1} = N_{K11} - N_{K12} = \frac{k_{ADC}(p_{m1} - p_{m2})}{k_{ПД}(1 + \Delta_{ПВ}/E_0 k_{ПД})} \cdot \frac{k_{m1}}{R_{M1}} \cdot R_K; \\ \Delta N_{K2} = N_{K21} - N_{K22} = \frac{k_{ADC}(p_{m1} - p_{m2})}{k_{ПД}(1 + \Delta_{ПВ}/E_0 k_{ПД})} \cdot \frac{k_{m2}}{R_{M2}} \cdot R_K. \end{cases} \quad (3)$$

Знаходять невідомі значення коефіцієнтів перетворення обох половин диференційного підсилювача АЦП різниці температур:

$$\begin{cases} \frac{k_{ADC}(p_{m1} - p_{m2})}{k_{ПД}(1 + \Delta_{ПВ}/E_0 k_{ПД})} \cdot \frac{k_{m1}}{R_{M1}} = \frac{\Delta N_{K1}}{R_K}; \\ \frac{k_{ADC}(p_{m1} - p_{m2})}{k_{ПД}(1 + \Delta_{ПВ}/E_0 k_{ПД})} \cdot \frac{k_{m2}}{R_{M2}} = \frac{\Delta N_{K2}}{R_K}. \end{cases} \quad (4)$$

Після такої процедури калібрування результат вимірювання можна записати так:

$$\begin{aligned} \Delta N_{XK} = & \left(\frac{\Delta N_{K1}}{R_K} R_{X1} - \frac{\Delta N_{K2}}{R_K} R_{X2} \right) + \\ & + \left(\frac{\Delta N_{K1}}{R_K} R_{C1} - \frac{\Delta N_{K2}}{R_K} R_{C2} \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Як бачимо, на результат вимірювання різниці температур впливають опори з'єднувальних дрітків. Треба вибирати довжину цих дрітків так, щоб похибка вимірювання різниці їх опорів ΔR_C була нехтовно малою, порівняно з похибкою вимірювання різниці опорів терморезисторів ΔR_X , тобто $\Delta R_C \leq \frac{\Delta R_X}{3 \div 5}$. Із урахуванням

залежності Календара, $R_q = R_0(1 + Aq + Bq^2)$ чутливість за опором платиного термоперетворювача Pt 100 ($R_0 = 100$ Ом) знайдемо як:

$$\begin{aligned} e_R = \frac{\partial R_q}{\partial q} &= R_0 \cdot (A + 2Bq) \approx R_0 \cdot A = \\ &= 100 \cdot 3,9 \cdot 10^{-3} = 0,39 \text{ Ом/К}. \end{aligned} \quad (6)$$

Тепер, для відомої чутливості e_R і на підставі допустимих меж похибки вимірювача різниці температур $\pm 0,1$ К можна знайти межі допустимих значень похибки вимірювання різниці опорів терморезисторів:

$$\Delta R_X = \pm 0,39 \cdot 0,1 = 0,039 \text{ Ом}. \quad (7)$$

Відповідно довжина з'єднувальних ліній повинна бути такою, щоб похибка різниці їх опорів не перевищувала:

$$\Delta R_C \leq \frac{\Delta R_X}{3 \div 5} = \frac{0,039}{3 \div 5} = (0,008 \div 0,013) \text{ Ом.} \quad (8)$$

Межа допустимих значень похибки від різниці опорів ліній зв'язку визначається так:

$$\Delta R_C = 4 \cdot \frac{r_n \cdot l_n}{S_n} \cdot (d_r + d_s), \quad (9)$$

де ρ_n , l_n , S_n – питомий опір, довжина і площа поперечного перерізу провідників відповідно; δ_r , δ_s – відповідно розкид по питомому опору і площі поперечного перерізу провідників.

За стандартними даними для мідного провідника діаметром 1 мм $\delta_r \approx 4,5\%$ і $\delta_s \approx 4\%$ можна визначити, якої довжини повинні бути з'єднувальні дроти, щоб похибка запропонованого вимірювача різниці температур не перевищувала 0,1 К:

$$l_n = \Delta R_C \cdot \frac{S_n}{4 \cdot r_n \cdot (d_r + d_s)} = (1,2 \div 1,9) \text{ м.} \quad (10)$$

Можна зробити висновок, що у випадку коротких дротів (до 1,9 м) для побудови вимірювача різниці температур можна використовувати дводровову лінію зв'язку.

Проте інколи потрібно використовувати довші з'єднувальні дроти чи дроти меншого діаметра. Звичайно, це призведе до того, що значення похибки вийде за встановлені межі. В такому випадку можна скоригувати результат вимірювання, визначивши різницю опорів ліній зв'язку. Це можна реалізувати, закоротивши обидва терморезистори R_{X1} та R_{X2} , у результаті чого отримаємо код, еквівалентний різниці опорів з'єднувальних ліній:

$$\Delta N_{XC} = \frac{\Delta N_{K1}}{R_K} R_{C1} - \frac{\Delta N_{K2}}{R_K} R_{C2}. \quad (11)$$

Після такої процедури скоригований результат вимірювання можна записати так:

$$\Delta N_{XKC} = \Delta N_{XK} - \Delta N_{XC} = \frac{\Delta N_{K1}}{R_K} R_{X1} - \frac{\Delta N_{K2}}{R_K} R_{X2}. \quad (12)$$

Як бачимо, після визначення різниці опорів з'єднувальних дротів на скоригований результат вимірювання впливатиме тільки похибка калібрувального резистора. Але таку процедуру можна здійснити тільки

у випадку, коли у вимірювачі різниці температур є доступ до термоперетворювачів.

Висновки:

- Розроблено структуру вимірювача різниці температур на основі платинових термоперетворювачів опору з дводрововою лінією зв'язку.

- Для усунення похибок від зміни масштабних коефіцієнтів тракту перетворення зі зміною умов довкілля і часу запропоновано процедуру проведення автокалібрування.

- Проаналізовано параметри ліній зв'язку, в результаті встановлено, що у випадку використання коротких ліній при побудові вимірювача різниці температур похибка не виходитиме за встановлені межі.

- Якщо є можливість доступу до термоперетворювачів, то у випадку використання з'єднувальних ліній, параметри яких призведуть до перевищення межі граничної допустимої похибки, запропоновано процедуру коригування результату вимірювання, під час якого визначається і враховується різниця опорів цих ліній.

Загальною рекомендацією до зменшення такої похибки є використання високоомних термоперетворювачів опору. Наприклад, для тих самих параметрів ліній зв'язку та плівкового термоперетворювача з НСХ Pt 1000 довжину ліній зв'язку можна збільшити до 19 м або ж похибку можна зменшити до 0,01 К.

1. http://www.zamer.ru/info/datchik_pt100 2. Matthias Nau. Elektrische Temperaturmessung mit Thermoelementen und Widerstandsthermometern / Matthias Nau – Fulda, Germany: JUMO GmbH & Co. KG, 2004. – 160 S. 3. Олеськів Т.М. Електротехнічні та комп'ютерні системи / Т.М. Олеськів, В.О. Яцук // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2012. – № 06(82). – С. 106–109. 4. Поліщук Є.С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин: підручник / Є.С. Поліщук. – Львів: Видавництво Державного університету "Львівська політехніка", 2000. – 360 с. 5. Яцук В.О. Методи підвищення точності вимірювань: підручник / В.О. Яцук, П.С. Малахівський. – Львів: Бескид Біт, 2008. – 368 с.

УДК 536.532

ОЦІНКА МАКСИМАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ НАГРІВАЧІВ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З КЕРОВАНИМ ПРОФІЛЕМ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ

© Кочан Орест, 2013

Тернопільський національний економічний університет

Здійснено теоретичну оцінку максимальної необхідної потужності нагрівачів термоелектричного перетворювача з керованим профілем температурного поля (ТЕП з КППП) для ефективного керування власним полем сенсора. Крім того, наведено залежності максимальної погонної потужності нагрівачів ТЕП з КППП від максимальної необхідної зміни температури та товщини шару теплоізоляції.

Приведена теоретическая оценка максимальной необходимой мощности нагревателей термоэлектрического преобразователя с управляемым профилем температурного поля (ТЭП с УППП) для эффективного регулирования собственным полем сенсора. Кроме того, приведено зависимости максимальной погонной мощности нагревателей ТЭП с УППП от максимального необходимого изменения температуры и толщины теплоизоляции.

The theoretical evaluation of maximum heaters power of thermocouple based sensor with controlled profile of temperature field (TBS with CPTF) is considered in this paper. Such evaluation is necessary for effective control of own temperature field of TBS with CPTF. Also the dependence maximum power per unit of length of heaters of TBS with CPTF from maximum temperature change as well as thickness of thermoinsulation layer is done in this paper.

Постановка проблеми. Термоелектричні перетворювачі (ТЕП) є одними з найвідоміших і найпоширеніших первинних перетворювачів температури (особливо для температур понад 500 °C) [1], незважаючи на досить вагомі недоліки – малу чутливість, нелінійність функції перетворення (ФП), необхідність врахування температури вільних кінців, а головне – порівняно великі похибки. Вони визначаються в основному:

1. Початковими індивідуальними відхиленнями ФП від номінальної (для найпоширеніших ТЕП типу ХА – 6,5 °C при температурі 800 °C [2]). Методи визначення та корекції цих похибок відомі [3, 4], вони забезпечують їх зменшення майже до рівня взірцевих засобів.

2. Часовим дрейфом ФП під дією температури і часу експлуатації (для ТЕП типу ХА – 8 °C за 1000 годин при температурі експлуатації 800 °C [5]). Методи визначення та корекції цих похибок також досліджено [6–8]. Якщо використано температурний калібратор [9, 10] або виконано перевірку ТЕП на місці експлуатації за допомогою взірцевого ТЕП [11, 12], можна отримати похибку вимірювання температури, не більшу за 0,8 – 1,2 °C.

3. Похибкою від набутої в процесі тривалої експлуатації за високої температури термоелектричної неоднорідності електродів термопар – чутливого елемента ТЕП.

Остання похибка вважається найвпливовішою і найменш дослідженою [13]. Згідно з [14], похибки ТЕП взагалі не можна коригувати через її наявність. Причиною похибки від набутої неоднорідності термоелектродів є залежність ступеня їх деградації від температури експлуатації [5, 15]. Тому ділянки термоелектродів, що містяться в зоні градієнта температурного поля експлуатації, деградують по-різному, тобто відхилення їх ФП від номінальної залежать від температури, в якій вони перебувають [16]. Проявляє себе похибка від набутої неоднорідності, згідно [14, 16], як зміна термо-ЕРС, генерованої термопарою, при зміні профілю температурного поля вздовж її електродів (за сталих температур робочого і вільних кінців). Наприклад, для ТЕП типу ХА при 1000 годин експлуатації при температурі 800 °C, в найгіршому випадку похибка від набутої неоднорідності досягає 11 °C [17], чим не можна нехтувати.

1. Термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля. Для зменшення впливу похибки від набутої у процесі експлуатації термоелектричної неоднорідності електродів термопар на результат вимірювання температури у [18 – 20] запропоновано і досліджено термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля

(ТЕП з КПТП). У такому давачі профіль температурного поля вздовж термоелектродів головної термопари (що вимірює температуру об'єкта) утримується сталим (на нього не впливають зміни профілю зовнішнього температурного поля). Отже, створюються умови, за яких похибка від набутої неоднорідності її термоелектродів не може себе проявити.

Структурну схему вимірювального каналу температури, який використовує ТЕП з КПТП, подано на рис. 1. Профіль температурного поля вздовж електродів головної термопари ГТП утримується сталим за рахунок додаткових каналів керування температурою. В ці канали входять додаткові термопари ТП1 – ТПn, нагрівачі Н1 – Нn та канали керування відповідної підсистеми ПСК.

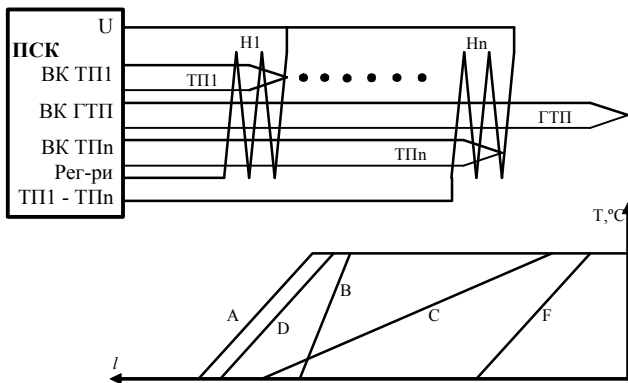


Рис. 1. Структурна схема вимірювального каналу температури, який використовує ТЕП з КПТП

Отже, під час експлуатації нагрівачі Н1 – Нn створюють вздовж електродів ГТП профіль температурного поля, позначений А на рис. 1. Реальні профілі температурного поля об'єкта вимірювання температури, наприклад, В, С, на профіль температурного поля вздовж електродів ГТП не впливають, тому похибка набутої в процесі експлуатації термоелектричної неоднорідності електродів ГТП проявити себе не може. Максимально допустимі зміни профілю температурного поля об'єкта вимірювання температури позначено на рис. 1 буквами D та F. Власне вони визначають межі зміни температури, які повинні реалізувати додаткові канали керування температурою ТЕП з КПТП. Однак у [18–20] необхідну потужність нагрівачів Н1 – Нn для реалізації цих змін не оцінено, що не дає змоги розробити конструкцію ТЕП з КПТП, а також оцінити вплив ТЕП з КПТП на об'єкт вимірювання температури.

Метою статті є оцінка максимальної потужності нагрівачів термоелектричних перетворювачів з керованим профілем температурного поля, необхідної для компенсації заданих змін профілю зовнішнього температурного поля (температурного поля об'єкта вимірювання) та розрахунок параметрів нагрівачів.

2. Теоретична оцінка максимальної потужності нагрівачів ТЕП з КПТП. Максимально необхідну потужність нагрівачів Н1 – Нn можна приблизно оцінити, прийнявши, що зона, в якій вони перебувають, є нескінченним циліндром, який має сталі температури внутрішньої t_1 (температура, яку утримують нагрівачі) та зовнішньої t_2 (температура навколишнього середовища) стінок. Тоді, згідно з [21], можна записати

$$Q = -F l \frac{dt}{dr} = -2\pi r l l \frac{dt}{dr}, \quad (1)$$

де Q – тепловий потік через бокову площу циліндра; F – бокова площа циліндра на одиницю довжини l ; r – радіус циліндра; l – коефіцієнт теплопровідності матеріалу циліндра.

Щодо ТЕП з КПТП, то матеріал циліндра – це шар теплоізоляції, який покриває нагрівачі Н1 – Нn. Температури t_1 та t_2 пов'язані співвідношенням

$$t_1 - t_2 = \Delta t, \quad (2)$$

де Δt – максимальна зміна температури, яку повинні реалізувати нагрівачі каналів керування ТЕП з КПТП.

Згідно з [21], одним з розв'язків диференційного рівняння (1) буде залежність погонного теплового потоку через зовнішню стінку циліндра (відношення Q до l), яку можна визначити як

$$\frac{Q}{l} = \frac{p(t_1 - t_2)}{\frac{1}{2l} \ln \frac{d_1}{d_2}} = \frac{2p l \Delta t}{\ln \frac{d_1}{d_2}}, \quad (3)$$

де d_1 та d_2 – відповідно зовнішній та внутрішній діаметри циліндра, $l = 0,15 \text{ W/m} \cdot \text{K}$.

Залежності (2)–(4) дають змогу обчислити погонний тепловий потік, необхідний нагрівачам ТЕП з КПТП для того, щоби реалізувати потрібну зміну температури вздовж електродів ГТП. Цей тепловий потік дорівнює потужності нагрівачів на відповідній довжині циліндра. Залежності максимальної погонної потужності нагрівачів ТЕП з КПТП (Вт) від максимальної необхідної зміни температури (°C) для

різної товщини теплоізоляції (м) подано на рис. 2. Як видно з рис. 2, велика потужність нагріву (більше за 1 кВт/м) потрібна лише у разі тоншого шару теплоізоляції та змін профілю температурного поля, які відповідають вимірюваній температурі. Такий варіант цілком не характерний для прямого застосування ТЕП з КІТП. Зазвичай зміни профілю температурного поля потужних термоагрегатів, наприклад, печей теплових електростанцій, визначаються змінами генерованої потужності, порою року та зовнішніми погодними умовами (сонце, вітер, опади). Такі впливи не змінюють профілю температурного поля термоагрегата більше ніж на 30–50 °С. Крім того, довжина зони одного нагрівача, для забезпечення гнучкого керування профілем температурного поля, не повинна перевищувати 0,1 м. У такому разі максимальна потужність окремих нагрівачів ТЕП з КІТП, залежно від товщини теплоізоляції, не перевищуватиме 20–50 Вт, що цілком прийнятно для потужних термоагрегатів.

Зміни профілю температурного поля, що відповідають вимірюваній температурі, характерні для ТЕП з самоперевіркою [22]. В цьому випадку питання узгодженості такого ТЕП з об'єктом вимірювання температури необхідно вирішувати окремо. Очевидно, що для великих термоагрегатів, зокрема печей потужних теплових електростанцій, такі потужності теж прийнятні, вони не спричинять спотворення їх функціонування.

3. Розрахунок параметрів нагрівачів. Для конструювання ТЕП з КІТП необхідно узгодити параметри нагрівачів (матеріал і діаметр їх провідників) з потрібною потужністю, точніше напругою живлення та максимальним струмом. Для цього запишемо значення опору провідника R

$$R = r \frac{L}{S}, \quad (5)$$

де r – питомий опір провідника, для нагрівачів доцільно використовувати або ніхром, для якого, згідно з [2], $r \approx 1 \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$, або один з термоелектродів – хромель, для якого $r \approx 0,65 \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$, або алюмель, для якого $r \approx 0,4 \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$; L – довжина провідника; S – площа перерізу провідника.



Рис. 2. Залежності максимальної погонної потужності нагрівачів ТЕП з КІТП від максимальної необхідної зміни температури та товщини шару теплоізоляції

Своєю чергою, для ТЕП з КІТП можна записати

$$L = n \cdot p \cdot d_2, \quad S = p \cdot d_p^2 / 4, \quad (6)$$

де n – кількість витків нагрівача, n можна визначити як $n = l / (d_p + w)$; d_p – діаметр провідника нагрівача; l – довжина однієї секції нагрівача; w – товщина ізоляції провідника (за суцільного намотування нагрівача) або відстань між провідниками (якщо нагрівач намотано з примусовим кроком).

Якщо підставити (6) у (5), отримаємо

$$R = 4r \frac{l \cdot d_2}{d_p^2 (d_p + w)}. \quad (7)$$

Для макета, описаного та дослідженого в [19], маємо $d_2 = 0,02 \text{ м}$, $l = 0,05 \text{ м}$, $d_p = 0,5 \text{ мм}$, $w = 1 \text{ мм}$, $r \approx 0,65 \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ (хромель [2]). Підставивши ці дані в (7), отримаємо $R \approx 7 \text{ Ohm}$. Щоб забезпечити зміни температури на згадане раніше значення 30–50 °С, згідно з рис. 2, потрібна максимальна потужність нагрівачів 20–50 Вт. Товщина теплоізоляції макета приблизно 10 мм, тому необхідна напруга живлення нагрівачів повинна бути 18–19 В, тоді максимальний струм нагрівача становитиме 2,6–2,7 А. Отримані дані прийнятні для практичного використання.

Істотного зменшення необхідної потужності нагрівача, а значить, його напруги і струму можна досягти, збільшивши товщину теплоізоляційного шару. Відповідні залежності наведено на графіках рис. 3 і 4.



Рис. 3. Залежність необхідної напруги живлення нагрівача від товщини теплоізоляційного шару, мм



Рис. 4. Залежність необхідного струму нагрівача від товщини теплоізоляційного шару, мм

Висновки. Наведена вище методика оцінки потужності нагрівачів ТЕП з КПТП є приблизною. Вона не враховує тепловіддачі по осі нагрівачів (вздовж електродів термопар). Але, незважаючи на такий недолік, вона дає змогу оцінити необхідну потужність нагрівачів, виконати їх конструктивний розрахунок, а також показує можливий шлях до оптимізації структури теплоізоляції.

1. Вимірювання температури: теорія та практика / Я. Т. Луцик, О. П. Гук, О. І. Лах, Б. І. Стадник. – Львів: Бескид Біт, 2006. – 560 с. 2. Приборы для измерения температуры контактным способом / под ред. Р. В. Бычковского. – Львов: Вища школа, 1979. – 208 с. 3. Саченко А. А. Повышение точности измерения электрическими методами высоких температур в промышленных условиях: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук : спец. 05.11.05 "Приборы и методы измерения электрических и магнитных величин" / А. А. Саченко. – Львов, 1978. – 20 с. 4. Саченко А.А. Совершенствование методов измерения температуры. / А.А. Саченко, Е.Я. Твердый – К.: Техніка. – 1983. – 104 с. 5. Рогельберг Н.А. Изменения термоэлектрической силы проволок из хромеля и алюмеля при нагреве на воздухе при 800 °С

продолжительностью до 10000 ч. Том III. / Н.А. Рогельберг, Э.Н. Пигидина, Г.Н. Покровская и др // сб. "Исследование сплавов для термопар". – Труды института Гипроцветметобработка. – М.: Металлургия, 1969. 6. Саченко А.А. Разработка методов повышения точности и создание систем прецизионного измерения температуры для промышленных технологий: дис... д-ра техн. наук: 05.11.16. – Ленинград, 1988. – 278 с. 7. Березький О.М. Системы вимірювання температури з елементами штучного інтелекту: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.04 "Прилади та методи вимірювання теплових величин" / О.М. Березький. – Львів, 1996. – 20 с. 8. Турченко В.О. Нейромережеві методи і засоби підвищення ефективності дистрибутивних мереж збору та обробки сенсорних даних: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.13 «Обчислювальні машини, системи, мережі» / В.О. Турченко. – Львів, 2001. – 16 с. 9. Alf Hundves, Henz G. Buschfort. Self calibrating temperature sensing proube and proube – indicator combination-Unated State Patent 3.499.340. 73-1, G01 -15/00. 10. Саченко А.А., Мильченко В.Ю., Кочан В.В. Измерение температуры датчиками со встроенными калибраторами. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 96 с. 11. Kortvelyessy L. Thermoelement Praxis / L. Kortvelyessy. – Vulkan-Verlag, Essen, 1981. S. – 498. 12. Пат. 2299408 России МПК G01K 15/00. Устройство для измерения температуры в виде термоэлектрического преобразователя / А.В. Коржавин, В.А. Коржавин, В.В. Богатов, А.В. Белевцев. – Заявлен 28.03.2006. 13. Southworth D.J. Temperature Calibration with Isotech Block Baths / Southworth D.J. – Handbook of Isothermal Corporation Limited, 1999. 14. Киренков И.И. Некоторые законы термоэлектрической неоднородности/ И.И. Киренков // Исследование в области температурных измерений: сб. тр. – М.: ВНИИМ, 1976. – С. 11–15. 15. Павлов Б.П. Термоэлектрическая неоднородность электродов термопар / Б.П. Павлов. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 109 с. 16. Кочан О.В. Оцінка максимальної похибки неоднорідних термопар / О.В. Кочан, Р.В. Кочан, В.Я. Яскілка, Н.М. Васильків // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2007. – № 1. – С. 122–129. 17. Васильків Н.М. Підвищення точності вимірювання температури термопарами в процесі експлуатації: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.04

"Прилади та методи вимірювання теплових величин" – Н.М. Васильків – Львів, 2010. – 158 с. 18. Кочан О.В. Термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля / Кочан О.В. // Вісник Тернопільського Державного Технічного університету. – 2008. – № 2. – С. 102–108. 19. Кочан О.В. Термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.04 – прилади і методи вимірювання теплових

величин / О.В. Кочан. – Львів, 2011. – 20 с. 20. Пат. № 97464 Україна, МПК G01K 15/00. Термоелектричний перетворювач / О.В. Кочан, Р.В. Кочан. – Заявл. 22.02.2007. 21. Недужий І.А. Техническая термодинамика и теплопередача: учеб. пособ. для вузов / И.А. Недужий, А.Н. Алабовский. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 248 с. – (2-е изд., перераб. и доп.). 22. Заявка на патент №a201213268 Україна, G01k. Спосіб корекції похибки головної термопари / О.В. Кочан. – Заявл. 21.11.2012.

УДК 536.532

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕІДЕАЛЬНОСТІ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ ЗРАЗКА НА РЕЗУЛЬТАТ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ МЕТОДОМ КОМБІНАЦІЙНОГО РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА

© Сегеда Олег, Кривенчук Юрій, 2013

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра інформаційно-вимірювальних технологій, вул. С. Бандери, 12, Львів-79013, Україна, sehedao@yahoo.com, proffesional@meta.ua

Вплив на вимірювання спектра комбінаційного розсіювання світла нетемпературних чинників – клиноподібності пластини та значення кута між лазером та досліджуванним об'єктом як результату зміни форми поперечного перерізу відбитого снопа світла на еліптичну.

Воздействие на измерение спектра комбинационного рассеяния света нетемпературных факторов – клиновидности пластины и значения угла между лазером и исследуемым объектом как результата изменения формы поперечного сечения отраженного снопа света на эллиптическую.

Impact on measurement of Raman spectroscopy are not factors such as temperature fid plate and the angle between the laser and the object, as a result of changing the shape of the cross section of the reflected light on the elliptic sheaf.

Актуальність дослідження. Можливість зареєструвати сигнал, пов'язаний зі зміною температури досліджуваного зразка, а також правильність інтерпретації результату залежать від застосованих методів вимірювання та від знання геометричних параметрів зразка.

Мета роботи. Дослідження впливу неідеальності геометричної форми досліджуваного зразка на результат вимірювання температури методом комбінаційного розсіювання світла.

Виклад основного матеріалу. Пластини (зокрема, тонкі напівпровідникові монокристали) характеризуються, як правило, деякими відхиленнями від ідеальної плоскопаралельної форми, що зумовлено особливостями процесів їх різання, шліфування й полірування, а також складністю контролю геометричних параметрів

у ході технологічного процесу (контроль після закінчення процесу тільки фіксує наявність і ступінь неідеальності, але повторна обробка пластин з метою усунути цю неідеальність практично ніколи не проводиться). Різні відхилення від ідеальної форми по різному впливають на результат взаємодії світла з пластиною. Наприклад, у разі взаємодії лазерного жмута з пластиною тонкого напівпровідникового монокристала відбувається інтерференція світла, але її прояв у відбитому жмуті може відповідати будь-якому з варіантів, обмежених граничними умовами (від інтерференції в ідеальній пластині до виродженого режиму з багаторазовим перевідбиванням лазерних променів без інтерференції). У межах одного кристала діаметром 75÷150 мм іноді проявляється повний спектр можливостей. Тому правильність інтерпретації результатів

лазерного зондування залежить від знання геометричних властивостей пластини. Неурахування геометричних особливостей пластин іноді призводить до виявлення фіктивних мікро- і макрооб'єктів у монокристалах (наприклад, областей «аномального» поглинання світла, «хвилюподібного» розподілу домішок тощо) [1, 2].

Експериментально розглянемо деякі типові особливості геометричної форми пластин, які вносять істотні зміни в моделі, що описують взаємодію світла з пластиною.

Клиноподібність (непаралельність поверхонь) означає зміну товщини пластинки уздовж довільного напрямку і характеризується кутом φ між поверхнями. Якщо кути малі ($\leq 10^{-3} \text{ рад}$), можна прийняти $\tan \varphi \approx \varphi \approx dh/dx$. Зміна товщини може мати монотонний (невипадковий) і немонотонний (випадковий) характер. У першому випадку вся пластинка клиноподібна, у іншому для опису форми пластини необхідно вимірювати локальну клиноподібність по всій поверхні (або в декількох точках) і знаходити середньоквадратичне значення. Величина dh/dx , що характеризує випадкову клиноподібність пластин (з двома полірованими поверхнями) монокристалічного кремнію та інших напівпровідників, досить мала і лежить в діапазоні 10^{-6} – 10^{-4} . Тому в разі використання методу комбінаційного розсіювання світла це відхилення від паралельності не є серйозною проблемою. Розподіл локального кута між поверхнями по площі пластини є характеристикою, що дає змогу оцінити як ефекти усереднення інтерференції у перерізі жмута, так і геометричне розходження жмутів різних порядків після проходження крізь пластину.

Існують ознаки, які дають змогу експериментально встановити клиноподібність: а) під час сканування вузьким жмутом світла уздовж поверхні в довільно вибраному напрямку, реєструючи (у відбитому або пройдену світлі) послідовність інтерференційних смуг; б) у разі опромінення пластинки широким жмутом (з діаметром, що перевищує розмір пластинки) монохроматичного світла і реєструвати систему інтерференційних смуг рівної товщини одночасно по всій площі пластинки (така оптична схема називається панорамою інтерферометра); в) контраст інтерференції в спектрах відбивання або пропускання зразка збільшується з довжиною хвилі (інтерференція спостерігається у спектрах, знятих з достатньо високою спектральною точністю) [1–10].

Для спектрів комбінаційного розсіювання вплив клиноподібної форми зразка на результат вимірювання мінімізується за рахунок одночасного зчитування стоксової та антистоксової смуг та зіставлення їх для термометрування.

Для визначення впливу на результати вимірювання клиноподібності зразка експериментально визначено температури методом КР для пластинки кремнію завтовшки 2 мм з клиноподібністю $dh/dx=10^{-5}$ та для пластинки кремнію завтовшки 2 мм з клиноподібністю $dh/dx=10^{-3}$ ($\leq 1 \text{ град}$). Отримані спектри КР (див. рис. 1) використано для експериментального визначення значення похибки вимірювання температури у разі клиноподібності досліджуваного зразка.

Розраховано значення температури для обох зразків за формулою:

$$T = \frac{hcv_0}{k \ln \frac{i_s}{i_{as}} - 3k \ln \frac{v_i - v_0}{v_i + v_0}}$$

за контрольного значення температури 23 °С. Розрахункові значення показали, що вплив клиноподібності пластини на спектр КР не перевищує 0.01 % порівняно з плоскопаралельним зразком.

Геометричні розміри лазера та монтажні компоненти спектрофотометра унеможливають використання оптичного світловода для передавання випромінювання лазера та зчитування відбитого оптичного сигналу через оптичний канал світловоду. Цю задачу для визначення оптимального кута між променем лазера та головкою оптичного світловода розв'язано експериментально. Певною мірою враховує можливі варіанти клиноподібності зразка те, що переріз плями лазера набуває овальної форми, тобто в точці сканування клиноподібність пластини може досягати декількох порядків. Для оцінки числового значення похибки здійснено серію вимірювань спектрів для трьох різних матеріалів (штучний алмаз, кристал кремнію, вуглецеві нанотрубки) див. рис. 2, рис. 3.

З отриманих експериментальних даних неможливо визначити оптимальний кут між лазерним променем та досліджуваним об'єктом. Однак варто зазначити, що він не повинен перевищувати 60 °, оскільки для обох досліджень похибка вимірювання значно збільшувалась для кутів понад 60–65 °.

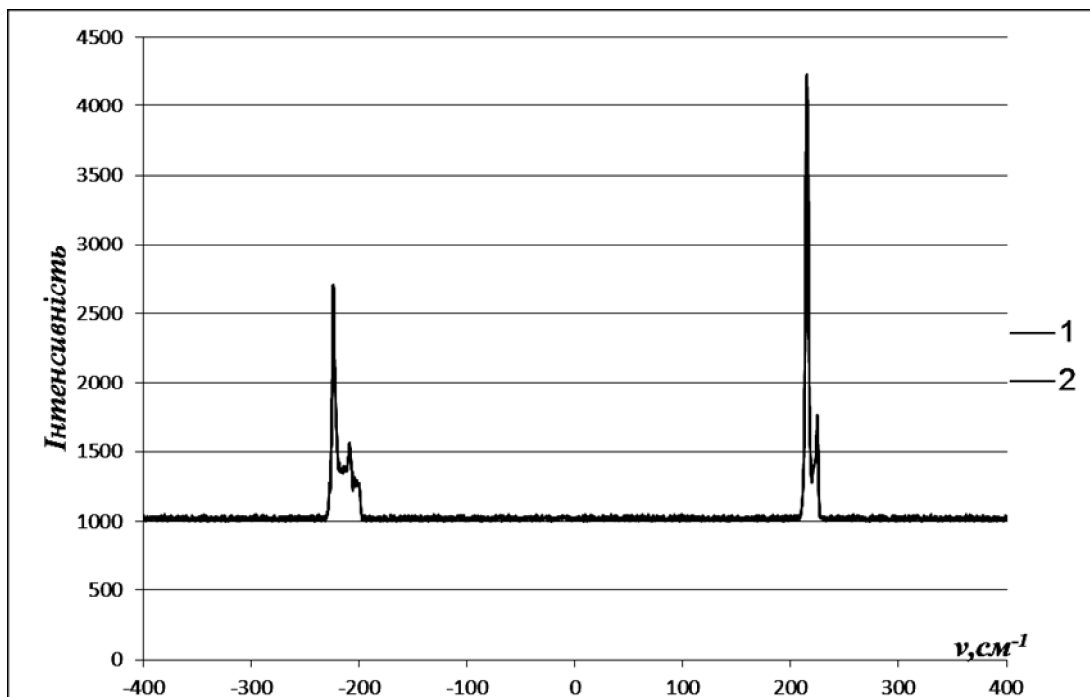


Рис. 1. Спектр комбінаційного розсіювання пластинки кремнію завтовшки 2 мм, 1 – клиноподібність пластини $dh/dx=10^{-5}$; 2 – клиноподібність $dh/dx=10^{-3}$ ($T=23^{\circ}\text{C}$).

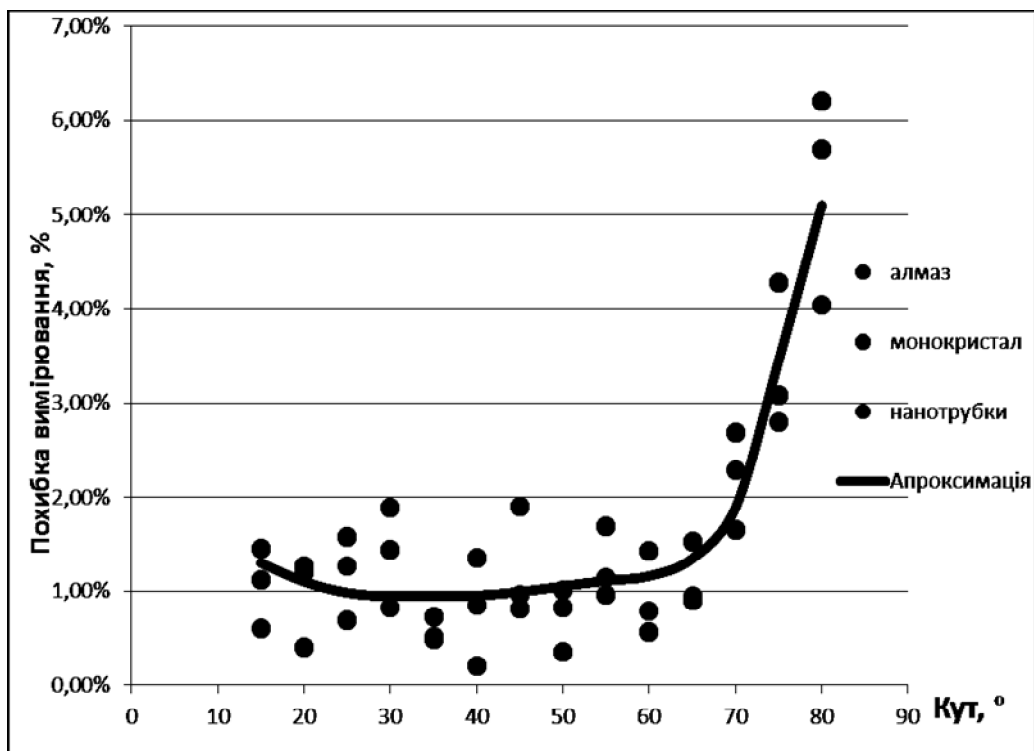


Рис. 2. Залежність точності вимірювання температури від кута між лазером та досліджуваним об'єктом (температура 20°C)

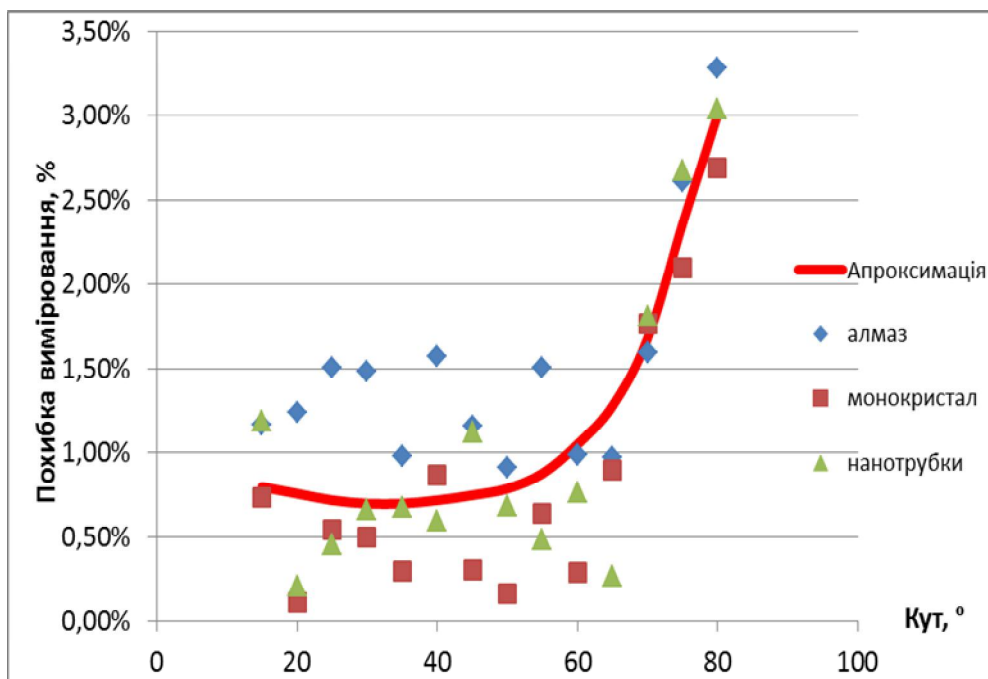


Рис. 3. Залежність точності вимірювання температури від кута між лазером та досліджуваним об'єктом (температура 70 °C)

Висновок. Отримані результати дають підстави стверджувати, що неідеальність геометричних розмірів (клиноподібність) зразка практично не впливає на похибку вимірювання температури (за рахунок усереднення інтегральних площ стоксової та антистоксової компоненти спектрального сигналу). Крім того, результати експериментальних досліджень дають змогу встановити оптимальне значення кута між лазером та досліджуваним об'єктом: це значення міститься у діапазоні від 20° до 60°.

1. Горелик Г.С. Колебания и волны / Г.С. Горелик. – М.: ГИФМЛ, 1959. – 572 с. 2. Оптические материалы инфракрасной техники / [Е.М. Воронкова, Б.Н. Гречушников, Г.И. Дистлер, И.П. Петров]. – М.: Наука, 1965 – 346 с. 3. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. – Т. 1 / И. В. Лебедев. – М.: Высшая школа, 1970. – 440 с. 4. Thermal conductivity and microwave dielectric properties of AlN-based ceramics containing conductive particles / [I. P. Fesenko, V. I. Chasnyk, N. V. Sverdun] // Сверхтв. материалы. – 2004. – № 3. – С. 12–17. 5. Фесенко И. П. Механические свойства AlN в полукри-

сталі / И. П. Фесенко, С. М. Дуб // Сверхтв. материалы – 2004. – № 4. – С. 42–49. 6. Kingery W. D. Introduction to ceramics / W. D. Kingery, H. R. Bowen, D. R. Uhlmann. – New York: Wiley, 1976. – 636 p. 7. Calame J. P. Applications of advanced materials technologies to vacuum electronic devices / J. P. Calame, D. K. Abe // Proc. IEEE. – 1999. – 87, N 5. – P. 840–864. 8. Ichard J.-C. Ceramic matrix composites with increased thermal conductivity / J.-C. Ichard, R. Pailler, J. Lamon // Adv. Sci. Technol. – 2006. – 45. – P. 1405–1410. 9. Jiang L. Densified multiwalled carbon nanotubes-titanium nitride composites with enhanced thermal properties / L. Jiang, L. Gao // Ceram. Int. – 2008. – 34, N 1. – P. 231–235. 10. Thermal transport measurements of individual multiwalled nanotubes / [P. Kim, L. Shi, A. Majumdar, P. L. McEuen] // Phys. Rev. Letters. – 2001. – 74, N 22. – P. 215502–215505. 11. Ковнеристый Ю. К. Материалы, поглощающие СВЧ-излучения / Ковнеристый Ю. К., Лазарева И. Ю., Раваев А. А. – М.: Наука. 1982. – 163 с. 12. Бухарин Е. Н. Новые высокотеплопроводные объемные СВЧ поглотители / Е. Н. Бухарин, А. С. Власов, А. А. Алексеев // Электронная техника. – 1988. – 6(235). – С. 66–70.

УДК 621.317.3, 624.131.64, 614.841.33

КОМПЛЕКСНА МЕТОДИКА ОЦІНКИ ТЕРМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДІЇ ВОГНЕВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ

© Прохоренко Сергій*, Данкевич Ірина**, Шналь Тарас**, Кашипор Катерина*, 2013

Національний університет "Львівська політехніка",

* кафедра інформаційно-вимірювальних технологій, вул. С. Бандери, 28а, 79013, Львів, Україна;

** кафедра будівельних конструкцій та мостів, вул. Карпінського 6, 79013, Львів, Україна
siergiej.prokhorenko@gmail.com; irunka@ua.fm; taras.shnal@gmail.com; narkotja@gmail.com

Розроблено та практично апробовано елементи методики контактної та безконтактної оцінки термічних параметрів дії вогневого навантаження на огороджувальні конструктивні елементи житлових приміщень, з метою чого здійснено числове симулювання модельного експерименту, а також проведено практичну (експериментальну) апробацію модельних припущень (на кількох комплектах апаратного забезпечення та в межах дев'яти експериментів).

Разработано и практически апробировано элементы методики контактной и бесконтактной оценки термических параметров действия огневой нагрузки на ограждающие конструктивные элементы жилых помещений, для чего осуществлено численное моделирование модельного эксперимента, а также проведено практическую (экспериментальную) апробацию модельных предположений (на нескольких комплектах аппаратного обеспечения и в пределах девяти экспериментов).

It is developed and practically approved elements of method of contact and noncontact estimation of thermal parameters of action of the fire loading on the non-load-bearing structural elements of housings apartments, with a purpose what the numeral simulation of model experiment is carried out, and also practical (experimental) approbation of model suppositions is conducted (on a few complete sets of the vehicle providing and within the limits of nine experiments).

Вступ. Некерований процес горіння у житлових приміщеннях, який настає під час пожежі, завдає значних матеріальних та соціальних збитків. Забезпечення відповідного рівня вогнезахисту (пожежної безпеки) для конструктивних елементів дасть змогу уникнути їх руйнування або щонайменше знизить витрати на компенсацію наслідків пожежі, яка все-таки відбулася [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Конструктивні елементи під час пожежі нагріваються неоднаково, що зумовлено випадковим (імовірнісним) типом багатьох параметрів, які впливають на динаміку пожежі [2]. Дослідження температурних режимів пожеж у житлових будівлях залишаються актуальними і в наш час. Особливу увагу науковців привертає власне математичний опис динаміки пожежі [3, 4] для створення нових та покращення вже існуючих кривих температура–час $p(t)$. Істотне значення у поширенні пожеж на інші кімнати чи будівлі має факел полум'я, що виходить разом з гарячими газами через отвори

огороджувальних конструктивних елементів. У роботі [5] наведено залежність величини теплового потоку від факела полум'я.

За даними математичного моделювання впливу параметрів пожежі на її інтенсивність та динаміку (виконано на основі параметричної кривої [6]) цікавим було зосередження дослідження у напрямі впливу значення коефіцієнта отворів та взаємного розташування отворів у огороджувальних конструкціях за двох рівнів пожежного навантаження на температурний режим пожежі у житловому приміщенні.

Мета роботи – випробувати комплексну методику оцінки термічних параметрів дії вогневого навантаження на огороджувальні конструктивні елементи (поєднання контактного та безконтактного способу вимірювань температур).

Основне завдання натурних експериментів (2012) полягало у відтворенні комплексної картини динаміки пожежі у моделі житлового приміщення. Увагу

зосередили на реєстрації зміни температур в об'ємі приміщень та на зовнішніх поверхнях конструктивних елементів [7]. Виміри температур проводили паралельно двома способами: контактним (за допомогою термопар) та безконтактним (за допомогою тепловізора).

Створено матрицю із 32 хромель-алюмелевих термопар (8 – ТХА-1590 та 25 – ТХА-1007) в об'ємі моделей житлових приміщень, яка дає змогу реєструвати зміну температури поблизу внутрішньої поверхні (на відстані 50 мм) огорожувальних конструкцій та в об'ємі моделі (рис.1). Сумісно з термопарами використовували чотири восьмиканальні регулятори-вимірювачі типу ПКРТ-01-03.

На рис. 2 подано часову розгортку температур у площинах П4 (стінка з балконом) та ПЗ (стінка з дверима) за даними термопар, розташованих поблизу цих стін.

Для визначення температури за допомогою термопар їх необхідно привести у безпосередній контакт із досліджуваним середовищем. Застосування безконтактного способу вимірювання температури буде доцільним та точнішим саме для вимірювання температур нагріву зовнішньої поверхні огорожувальних конструктивних елементів та викиду факела полум'я через отвори.

Під час натурних експериментів для контролю температури зовнішньої поверхні огорожувальних конструктивних елементів (стін) використано мобільний тепловізор Fluke-Ti25 (теплова чутливість (NETD) – 0.1 °C при 30 °C (100 мК), інфрачервоний спектральний діапазон від 7.5 мкм до 14 мкм). На рис. 3 наведено фото під час пожежі у моделі приміщення D за допомогою Fluke-Ti25, зокрема на рис. 3, а видно саме стіну із балконом та стіну із дверима.

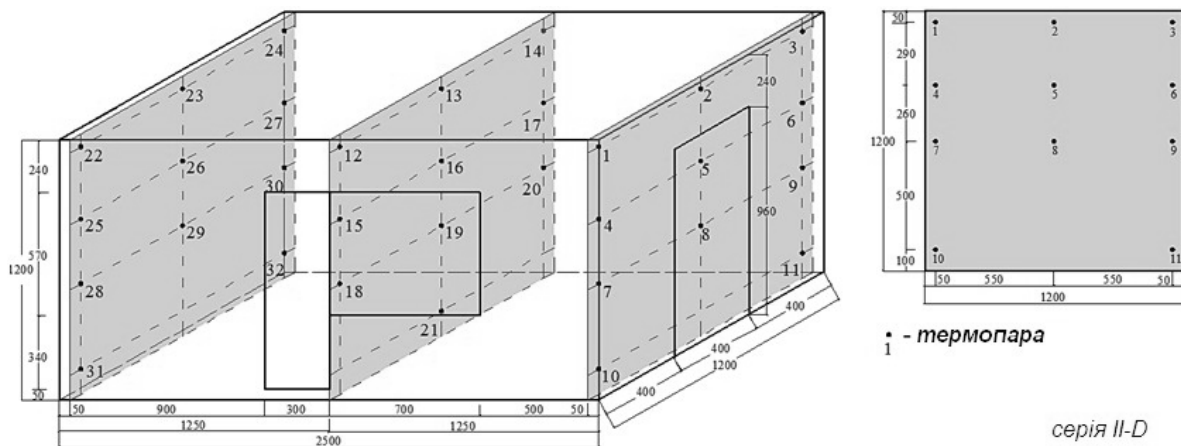


Рис. 1. Експерименти серії II-D: розташування термопар в об'ємі моделі житлового приміщення

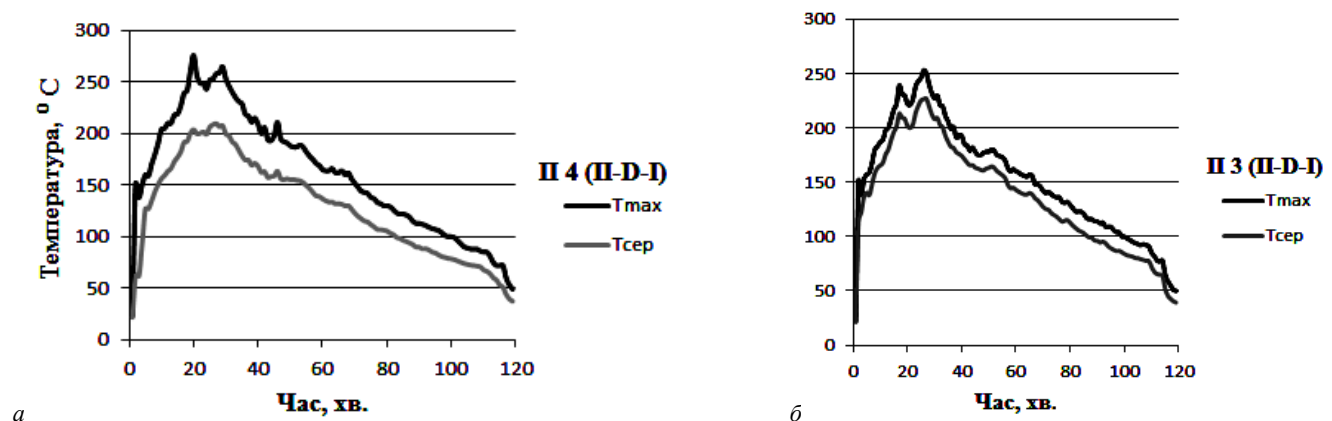


Рис. 2. Залежність температура-час експерименту II-D-I ($q_{f,d}=525 \text{ Дж/м}^2$; $T_{\text{max}}=307 \text{ °C}$):

а – для стінки з балконом (П4); б – для стінки з дверима (П3)

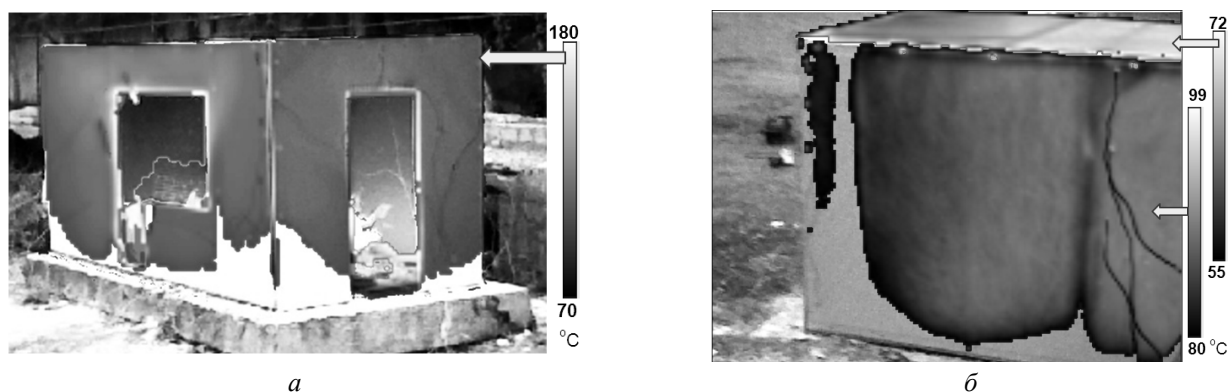


Рис. 3. Нагрів зовнішньої поверхні огорожувальних конструкцій під час пожежі II-D-I ($q_{f,d}=525 \text{ Дж/м}^2$; $t_{\max}=18 \text{ хв}$; $T_{\max}=307 \text{ }^\circ\text{C}$): а – фото відповідає 25-й хв експерименту; б – фото відповідає 35-й хв експерименту

Під час пожежного експерименту дрібні частинки попелу в повітрі створюють певні оптичні перешкоди для роботи тепловізора. Тому для вимірювань температур теплових потоків та факела полум'я пожежі (рис. 4), що виходив крізь отвори огорожувальних конструкцій, застосували матрицю із чутливих елементів, яку помістили у середовище газового потоку (у цьому випадку – в площині отворів огорожувальних конструкцій). Цю матрицю було виконано із металеві сітки та маркерів температури. Як маркер температури використали порожнисті керамічні елементи.

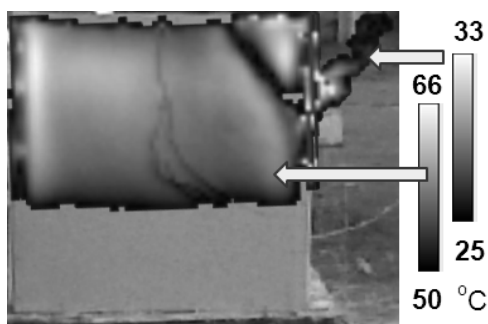


Рис. 4. Фіксація виходу гарячих газів та факела полум'я за допомогою Fluke-Ti25 (фото відповідає 5-й хв експерименту)

Керамічні елементи попередньо були досліджені на швидкість прогріву газовим факелом, і одержані результати підтвердили доцільність їх використання у цих експериментах. Тест чутливості до елементів дії газового факела проводився з використанням чутливої ($\text{NETD}=25 \text{ мК}$) у досліджуваному температурному діапазоні) тепловізійної камери FLIR SC7600 та емулятора газового потоку, котрим був ручний пальник Бунзена, або, для генерації псевдоламінарного газового струменя стаціонарних термодинамічних характеристик, використано паяльну станцію LUKEY-702 [8].

Під час експериментів також застосували і кількешарову матрицю із чутливими елементами для створення 3-d зображення в інфрачервоному діапазоні (рис. 5).

Застосування подібної матриці з маркерами температур доцільно не тільки у сфері вогнезахисту будівельних конструкцій, а й в енергетиці тощо.

Для детальних досліджень із використанням металеві сітки та маркерів температури доцільно враховувати матеріал самої сітки, його фізико-механічні властивості, також можна розглядати інші маркери температури.



Рис. 5. Вигляд матриці із чутливими маркерами температури

Висновок. Розроблено та апробовано в числовому симуляційному та експериментальному (на кількох незалежних комплексах обладнання) модельних експериментах комплексну методику оцінювання термічної дії вогневого навантаження на огорожувальні конструктивні елементи житлових приміщень.

Застосування методики оцінки вигляду епюри енергетичного потоку із використанням структурної матриці, що формує розміщення чутливих маркерів температури, відкриває нові можливості отримання даних не тільки у пожежних експериментах.

1. ДСТУ Б В.1.1-4-98* Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. – 2005. – 43 с.
2. Шналь Т.М. Характеристика моделей розвитку пожежі [Текст] / Т.М. Шналь, І.П. Синенько, М.І. Стасюк // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Теорія і практика будівництва». – 2011. – № 697. – С. 252–256.
3. Моделирование пожаров и взрывов: [монография] / [Астахова И.Ф., Беляцкий В.П., Брушлинский Н.Н. и др.]; под общ. ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко; Ассоц. "Пожнаука". Пожар. безопасность и наука. – М. : Ассоц. "Пожнаука", 2000. – 482 с.
4. Математичне моделювання та дослідження термонапруженого стану огорожувальних конструкцій, обумовленого пожежею / М.М. Семерак, Т.Б. Юзьків // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – Л.: ЛПБ, 2005. – № 7. – С. 128–132.
5. Теплові потоки, зумовлені випромінюванням факела пожежі / М.М. Семерак, А.М. Домінік, А.В. Субота // Пожежна безпека: зб. наук. праць. – Львів: ЛДУ БЖД, 2011. – № 19. – С. 131–136.
6. EN 1991-1-2 (2002). Eurocode 1: Actions and Structures. Part 1-2: General Actions on Structures Exposed to Fire.
7. Люценко В. І., Туяхов А. І., Саф'яні С.М. Вимірювання в енергетиці. – Донецьк: Норд-Прес, 2008. – 352 с.
8. Прохоренко С., Кашипор К., Микитин І., Мац К., Возний М., Панас А. Оцінювання рівня неоднорідності матеріалу шляхом аналізу теплового відгуку на вузькозонне теплове збудження // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2012. – Вип. 73. – С. 41–44.

УДК 624.012, 621.317.3

ВИПРОБУВАННЯ БЕТОННИХ КУБІВ ТА ПРИЗМ З ТЕПЛОВІЗІЙНИМ СПОСТЕРЕЖЕННЯМ ЗРАЗКІВ ТА РЕЄСТРАЦІЄЮ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПРИ РУЙНУВАННІ

© Коваль Петро¹, Солодкий Сергій², Прохоренко Сергій³, Ковальчик Ярослав⁴, 2013

¹ Національна академія образотворчого мистецтва та архітектури, кафедра архітектурних конструкцій,
вул. Смирнова-Ласточкина, 20, Київ

^{2,3} Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів 79013,

² кафедра автомобільних шляхів, ³ кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,

⁴ Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів та хімії,
вул. Суворова 1, Київ, 01010.

koval_pm@meta.ua, solodkyy@mail.ru, siergiej.prokhorenko@gmail.com, kovalchik_yaroslav@ukr.net

Розглянуто результати випробування бетонних кубів та призм на стиск з реєстрацією температури та сигналів тріщиноутворення акустичною емісією при руйнуванні зразків на пресі. Визначено можливість використання тепловізійного методу для технічної діагностики стану бетонних конструкцій.

Рассмотрены результаты испытания бетонных кубов и призм на сжатие с регистрацией температуры и сигналов трещинообразования акустической эмиссии при разрушении образцов на прессе. Определена возможность использования тепловизионного метода для технической диагностики состояния бетонных конструкций.

The results with registration temperature in the destruction of samples and crack acoustic emission signals of the test compression of concrete cubes and prisms presented on stand. The possibility of using thermal method for technical diagnostics of concrete structures shown.

Вступ. У вітчизняній практиці під час обстежень залізобетонних конструкцій споруд для виявлення та фіксації дефектів а також для візуального спостереження за їх утворенням і розвитком використовують

візуальне спостереження, фотофіксацію тощо [1]. Але, використовуючи вищезгадані способи, не завжди можна виявити дефекти бетону й арматури в поверхневому шарі конструкції.

Для їх виявлення можна використати тепловізійний метод (IR-діагностика). Цей метод обстеження конструкцій є одним з сучасних методів оцінки стану конструкції споруди та визначення деяких її внутрішніх дефектів бетонування та армування, які важко виявити візуально [1]. Він полягає в аналізі тепловізійних зображень елементів конструкції з урахуванням різної температури матеріалу дослідної ділянки (рис. 1) [2].

Для реєстрації сигналів утворення та поширення мікротріщин у залізобетоні на різних етапах роботи конструкцій використовують акустичну емісію (АЕ) [3]. Прикладом застосування тепловізійного методу є дослідження поверхні попередньо напруженої плити прогонової будови моста [1].

На дослідній ділянці (рис.1) показано чітку різницю температури бетону та арматури, котра (з огляду на недотримання технології будівництва та робочої документації) опинилась назовні, без захисного шару бетону (зона-1). Також чітко спостерігається зона (зона-2) пошкодженого бетону з температурою, що відрізняється від температури нормального бетону.

Метою цього дослідження було визначення можливості реєстрації напружено-деформованого стану бетонних конструкцій тепловізійним методом під час їх руйнування. Зокрема, проведено практичну пе-

ревірку якості реєстрації тепловізійним методом процесів утворення та розвитку тріщин у залізобетонних конструкціях. Перспективним завданням було оцінювання доцільності використання IR-методики аналізу для здійснення технічної діагностики стану бетонних конструкцій, які працюють під навантаженням.

Температуру зразка фіксували тепловізійною камерою Fluke Ti25 (теплова чутливість (NETD) – 0.1°C при 30°C , інфрачервоний спектральний діапазон від 7.5 мкм до 14 мкм).

Дослідження з використанням методу тепловізії та акустичної емісії (АЕ) проведено під час руйнівного випробування (осьове навантаження) стандартних залізобетонних зразків без їхнього попереднього нагріву. Визначалось збільшення температури бетону в разі руйнування.

Виготовлено сім бетонних кубів розмірами $100\times 100\times 100$ мм та три призми $100\times 100\times 400$ мм з важкого бетону класу В30.

Випробування бетонних кубів та призм відбувалося на пресі МС-2000 згідно з нормами [4, 5] за схемами, вказаними на рис. 2, а, б. Рівень навантаження контролювали за шкалою преса (рис. 4).

Процес реєстрації сигналів АЕ у часі здійснювався притиснутим до вигладженої поверхні досліджуваного зразка широкопосмовим ($0,5\text{--}1,5$ мГц)

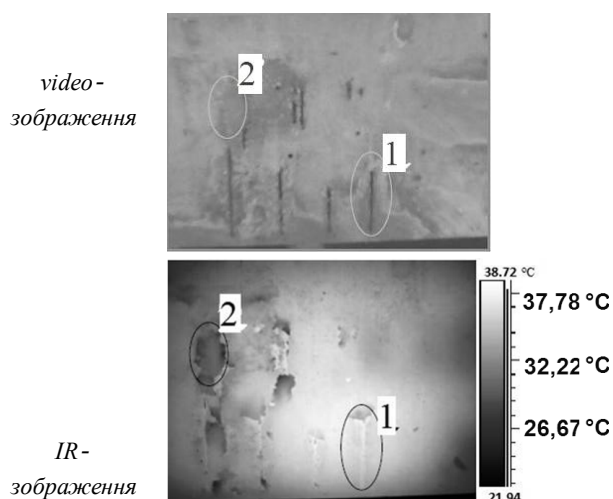


Рис. 1. Дослідна ділянка.
1, 2 – різні зони дефектів [2]

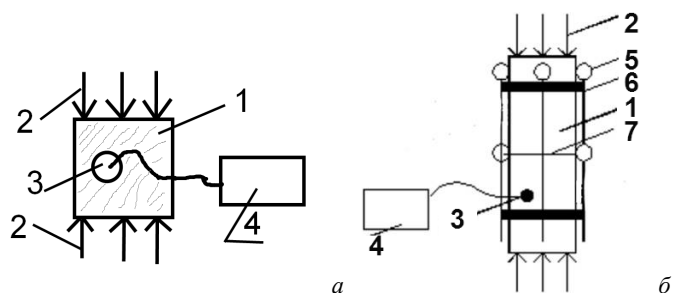


Рис. 2. Схема випробування на осьовий тиск:
а – бетонного куба: 1 – дослідний зразок,
2 – прикладене зусилля; 3 – приймач АЕ;
4 – програмно-технічний комплекс “АКЕМ”;
б – бетонної призми: 1 – зразок марки ПР; 2 – прикладене зусилля; 3 – датчик АЕ; 4 – програмно-технічний комплекс “АКЕМ”; 5 – мікроіндикатори; 6 – металева рамка для вимірювання поздовжніх деформацій;
7 – база з мікроіндикаторами для вимірювання поперечних деформацій

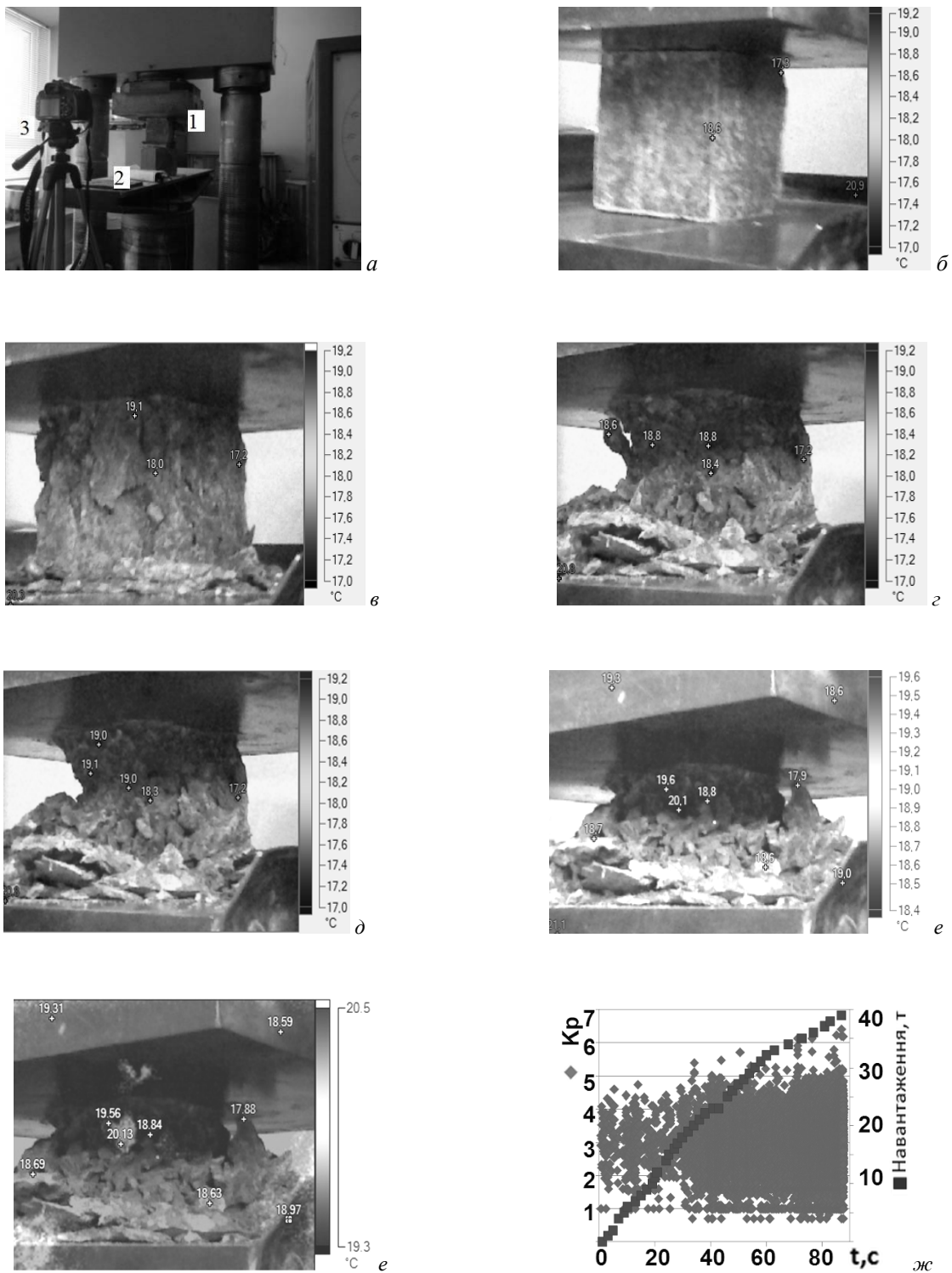


Рис. 3. Випробування куба К-4: а – загальний вигляд випробування (1 – бетонний куб, 2 – блок підсилювача сигналу АЕ, 3 – тепловізор Fluke Ti25 з прикріпленою фотокамерою); б – куб до прикладання навантаження; в – куб при руйнуванні; г, д, е – куб при подальшому роздавлюванні на пресі; ж – Кр в часі при випробуванні К-4



Рис. 4. Випробування призми П-2: а – загальний вигляд випробування (1 – прес з призмою, 2 – тепловізор з реєстратором відео, 3 – ПК «АКЕМ», 4 – шкала преса), б – відеозапис тепловізора, в – вигляд призми з мікроіндикаторами (5) та датчиком АЕ (6), г – вигляд розподілу температурного поля в момент перед руйнуванням, д – момент руйнування призми

акустичним сенсором. Дотримання вимог збереження акустичного контакту забезпечувалось стабільністю сили притиску та встановленням сенсорної головки на акустично прозору пасту. Підсилювали сигнал АЕ попереднім підсилювачем з чутливістю на вході 10 мкВ, частотним діапазоном 100–2000 кГц, коефіцієнтом підсилення 70÷90 дБ і з динамічним діапазоном 40÷65 дБ. Смуга зрізу фронту низьких частот 9 кГц. Попередньо нормований аналоговий сигнал надходив на встановлену плату DAQ L-154 для подальшої обробки за допомогою програмно-технічного комплексу «АКЕМ». Ця схема експерименту дала змогу синхронізувати процес реєстрації АЕ з динамікою зміни навантаження на досліджуваній зразок. Запис АЕ відбувався в один етап. Як характеристичний параметр представлено часову залежність параметра катастрофічності процесу (K_p).

Міцність кубів на стиск вказана в таблиці. Під час руйнування бетонного куба К-4 виділення температура становила 2,64 °С (рис. 3). До випробування куба

температура становила 17,44 °С (рис. 3, б), після – 20,13 °С (рис. 3, в). Найбільше виділення тепла фіксувалось на частинках щебеню.

Куб	Міцність на стиск, т
К-1	41,7
К-2	39,8
К-3	43,1
К-4	39,6
К-5	38,8
К-6	40,9
К-7	42,8
Кубикова міцність бетону, МПа	38,9

Під час руйнування призми П-2 зареєстроване поверхнєве пікове виділення температури становило 1,5 °С (рис. 4, г). Після руйнування найбільша температура зафіксована також на частинках щебеню. На рис. 4 показано реєстрацію сигналів K_p під час ос-

тання привантаження призми П-2 до її руйнування. Процеси тріщиноутворення ($K_r > 6$) активно проходили після навантаження в 35 т.

Висновки. Зафіксовано виділення температури під час руйнування бетонних кубів та призм класу В30. Показано можливість поєднання енергетичних критеріїв АЕ руйнування зразків з виділенням температури при руйнуванні. Для остаточного поєднання необхідна достатньо напрацьована база випробування аналогічних зразків. Проведені дослідження свідчать про можливість використання тепловізійного методу після його доопрацювання для діагностики технічного стану бетонних конструкцій.

1. Лучко Й.Й. *Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів та конструкцій* / Й.Й. Лучко, П.М. Коваль, М.Л. Дем'ян. – Львів: Каменяр,

2001. – 436 с. 2. *Research Report/Project DTFH61-05-C-00008, Task No. 8 / Detection of voids in prestressed concrete bridges using thermal imaging and ground-penetrating radar* / David G. Pollock, Kenneth J. Dupuis, Benjamin Lacour, Karl R. Olsen, Washington State Transportation Center (TRAC), Washington State University, Department of Civil & Environmental Engineering, Pullman, WA 99164-2910, 2008. 3. Скальський В.Р. *Акустична емісія під час руйнування матеріалів, виробів і конструкцій* / В.Р. Скальський, П.М. Коваль – Львів: Сполом, 2005. – 396 с. 4. ДСТУ Б В.2.7-223:2009 *Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій*. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 5. ДСТУ Б В.2.7-217:2009 *Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона*. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010.

ВИМІРЮВАННЯ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН

УДК 658.62:658.562.

СПОСІБ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МЕДИЧНОГО СПИРТУ ЗА ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

© Міхалєва Марина, Юзва Володимир, 2013

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації
та сертифікації, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Досліджено залежності значень активної та реактивної складових провідності медичного спирту від частоти електромагнітного поля. Пропонується спосіб ідентифікації медичного спирту на чистоту за параметрами імідансу.

Исследовано зависимости значений активной и реактивной составляющих проводимости медицинского спирта от частоты электромагнитного поля. Предлагается способ идентификации медицинского спирта на чистоту по параметрам иммитанса.

In the article the study dependence of values of active and reactive components of the conductivity of medical alcohol on the frequency of the electromagnetic field. A method of identifying medical alcohol to clean the parameters immittance.

Актуальність і постановка задачі. Медичний спирт складу до 96 % є поширеним стабілізатором для багатьох фармацевтичних препаратів. Це означає, що він повинен містити найменшу кількість домішок, які можуть бути за певних концентрацій небезпечними. Розроблено фармакопейні методи: денситометричний, відганяння, пікнометричний, за температурою кипіння, газової хроматографії. Кожний метод має певні переваги і недоліки. Основним недоліком (крім хроматографії) цих методів є вплив наявності домішок на об'єктивність і точність вимірювань. У фармакопейному нормативному документі електричних кондуктометричних вимірювань для ідентифікацій спирту і спиртових препаратів не існує [1]. Електричними дослідженнями встановлено можливість за параметрами імідансу ідентифікувати рідкі діелектрики з складом речовин-неелектролітів [2]. Такими речовинами і є спирти гомологічного ряду. У роботі поставлено завдання розробити спосіб ідентифікації медичного спирту за параметрами імідансу.

Умови виконання експериментальних досліджень. Для виконання експериментальних досліджень використано первинний перетворювач – електрична комірка, відградуйована за об'ємом з вуглецевими електродами. Перетворювач приєднаний до RLC-метра

– приладу, який генерує електричне поле різної частоти від 50 – 100 кГц та вимірює комплексні параметри електричного кола.

У цих дослідженнях вивчено залежності значень активної та реактивної складових провідності від частоти електромагнітного поля. Досліджено п'ять зразків аптечних препаратів «Септол» 96 % медичного спирту, які отримали сертифікат відповідності. Максимальне відхилення значень активної та реактивної складових провідності від середнього значення становило: для $G=0,01 \cdot 10^{-5}$ см, для $B=0,01 \cdot 10^{-7}$ СМ.

Розрахувавши максимальне значення відхилення від середнього значення на всіх частотах та додавши до середнього значення, побудували залежності активної та реактивної складових провідності від частоти. Такі залежності прийнято за стандарт.

До двох стандартних зразків (зразки порівняння) додавали домішки різної електричної природи (електроліти 2 досл., неелектроліти 1 досл.) й отримали модельні рідини з можливим складом домішок.

Встановлено, що наявність у медичному спирті речовин домішок-неелектролітів – зменшує або збільшує значення G_{nop} на всіх діапазонах частот, і не змінюється значення B_{nop} . Але наявність органічних домішок певної хімічної природи може тільки збільшувати значення G складової.

	G1	G2	G3	G4	G5
50	6,27E-05	6,16E-05	6,53E-05	6,21E-05	6,22E-05
60	6,27E-05	6,28E-05	6,61E-05	6,21E-05	6,22E-05
100	6,28E-05	6,30E-05	6,65E-05	6,23E-05	6,23E-05
120	6,29E-05	6,30E-05	6,76E-05	6,23E-05	6,24E-05
200	6,30E-05	6,31E-05	6,84E-05	6,24E-05	6,25E-05
400	6,30E-05	6,32E-05	6,92E-05	6,25E-05	6,25E-05
500	6,32E-05	6,51E-05	7,03E-05	6,26E-05	6,27E-05
1000	6,31E-05	6,33E-05	6,93E-05	6,26E-05	6,26E-05
2000	6,32E-05	6,33E-05	6,74E-05	6,26E-05	6,27E-05
4000	6,32E-05	6,33E-05	6,72E-05	6,26E-05	6,27E-05
5000	6,32E-05	6,33E-05	6,64E-05	6,26E-05	6,27E-05
10000	6,32E-05	6,34E-05	6,70E-05	6,27E-05	6,27E-05
20000	6,33E-05	6,34E-05	6,72E-05	6,27E-05	6,28E-05
40000	6,33E-05	6,34E-05	6,82E-05	6,28E-05	6,28E-05
50000	6,34E-05	6,34E-05	6,87E-05	6,28E-05	6,29E-05
100000	6,36E-05	6,37E-05	7,02E-05	6,31E-05	6,31E-05

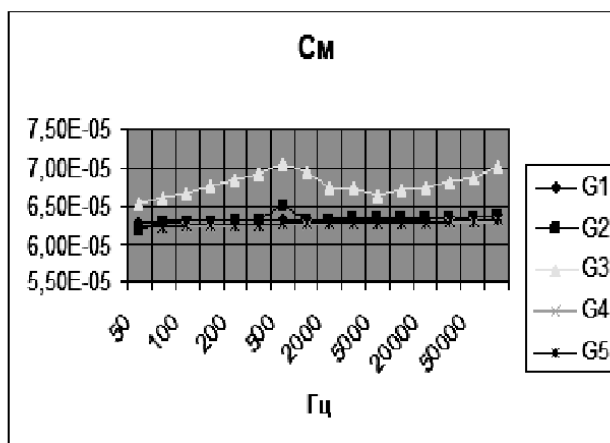


Рис. 1. Залежність значення активної складової провідності від частоти електромагнітного поля

	B1	B2	B3	B4	B5
50	6,62E-07	6,61E-07	6,62E-07	6,62E-07	6,45E-07
60	6,07E-07	6,07E-07	6,05E-07	6,05E-07	5,90E-07
100	4,89E-07	4,89E-07	4,89E-07	4,89E-07	4,77E-07
120	4,60E-07	4,60E-07	4,59E-07	4,59E-07	4,48E-07
200	4,06E-07	4,07E-07	4,04E-07	4,04E-07	3,95E-07
400	4,08E-07	4,07E-07	4,06E-07	4,06E-07	3,97E-07
500	4,17E-07	4,14E-07	4,05E-07	4,05E-07	4,02E-07
1000	5,98E-07	5,98E-07	5,96E-07	5,96E-07	5,87E-07
2000	1,01E-06	1,01E-06	1,01E-06	1,01E-06	9,95E-07
4000	1,89E-06	1,89E-06	1,88E-06	1,88E-06	1,86E-06
5000	2,33E-06	2,33E-06	2,33E-06	2,33E-06	2,30E-06
10000	4,58E-06	4,57E-06	4,57E-06	4,57E-06	4,51E-06
20000	9,09E-06	9,09E-06	9,07E-06	9,07E-06	8,96E-06
40000	1,81E-05	1,81E-05	1,81E-05	1,81E-05	1,79E-05
50000	2,27E-05	2,26E-05	2,26E-05	2,26E-05	2,23E-05
100000	4,53E-05	4,53E-05	4,52E-05	4,52E-05	4,47E-05

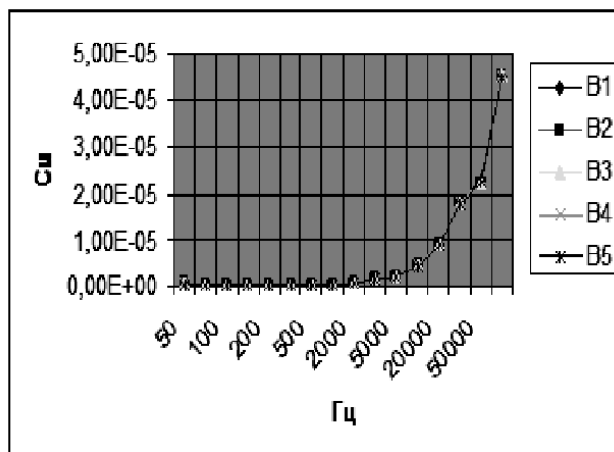


Рис. 2. Залежність значення реактивної складової провідності від частоти електромагнітного поля

	G пор.	G1досл	G2досл
50	6,27E-05	8,28E-05	6,28E-04
60	6,27E-05	8,28E-05	6,28E-04
100	6,28E-05	8,30E-05	6,29E-04
120	6,29E-05	8,30E-05	6,30E-04
200	6,30E-05	8,31E-05	6,30E-04
400	6,30E-05	8,32E-05	6,31E-04
500	6,32E-05	8,33E-05	6,34E-04
1000	6,31E-05	8,33E-05	6,32E-04
2000	6,32E-05	8,33E-05	6,33E-04
4000	6,32E-05	8,33E-05	6,33E-04
5000	6,32E-05	8,33E-05	6,33E-04
10000	6,32E-05	8,34E-05	6,33E-04
20000	6,33E-05	8,34E-05	6,34E-04
40000	6,33E-05	8,34E-05	6,34E-04
50000	6,34E-05	8,34E-05	6,35E-04
100000	6,36E-05	8,37E-05	6,37E-04

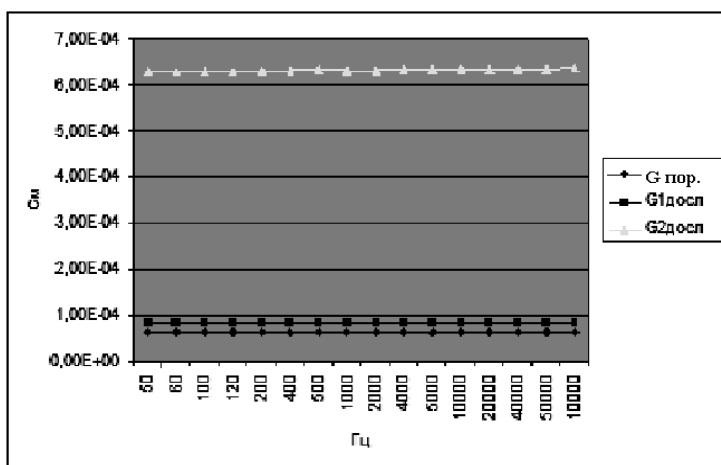


Рис. 3. Залежності значень активної складової провідності від частоти електромагнітного поля для стандарту порівняння та двох модельних рідин

	$B_{\text{пор.}}$	$B1_{\text{досл.}}$	$B2_{\text{досл.}}$
50	6,62E-07	6,61E-07	0,000429
60	6,07E-07	6,07E-07	0,000426
100	4,89E-07	4,89E-07	0,000399
120	4,60E-07	4,60E-07	0,00039
200	4,06E-07	4,07E-07	0,000349
400	4,08E-07	4,07E-07	0,000285
500	4,17E-07	4,14E-07	0,000264
1000	5,98E-07	5,98E-07	0,000203
2000	1,01E-06	1,01E-06	0,000151
4000	1,89E-06	1,89E-06	0,000113
5000	2,33E-06	2,33E-06	0,000102
10000	4,58E-06	4,57E-06	7,90E-05
20000	9,09E-06	9,09E-06	6,71E-05
40000	1,81E-05	1,81E-05	6,78E-05
50000	2,27E-05	2,26E-05	7,14E-05
100000	4,53E-05	4,53E-05	9,87E-05

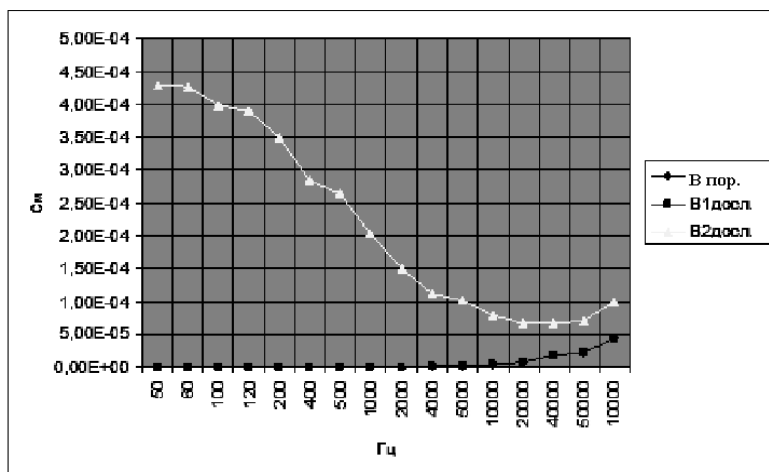


Рис.4. Залежності значень реактивної складової провідності від частоти електромагнітного поля для стандарту порівняння та двох модельних рідин

Домішки-електроліти збільшують значення як G , так і B на всьому діапазоні частот.

Отже, встановлено, що нормування для порівняння значення параметрів імітансу дає можливість виконувати ідентифікацію медичного спирту за параметрами імітансу. Подальші дослідження полягають у врахуванні метрологічних характеристик приладу на кожній частоті та визначенні оптимальної частоти для випробування лікарських препаратів (медичного спирту) на чистоту (фармакопейний показник контролю). Результати такого дослідження будуть втілені у розробці та конструюванні макета приладу.

Висновок. Запропонований спосіб працює так: для досліджуваного об'єкта вимірюють параметри G та B на визначеній частоті за методикою (наприклад, 1000 Гц).

Значення імітансу порівнюють з відповідними значеннями стандарту $G_{\text{пор.}}=6.31 \cdot 10^{-5}$, $B_{\text{пор.}}=5.98 \cdot 10^{-7}$.

За результатами порівняння встановлюють ідентифікацію та чистоту препарату.

Якщо $G_{\text{вим.}} > G_{\text{пор.}}$, а $B_{\text{вим.}} \geq B_{\text{пор.}}$, то досліджувана рідина не є чистим 96 % розчином спирту.

1. Державна Фармакопея України. 2. Міхалєва М. Дослідження спиртових розчинів імітансним методом / М. Міхалєва // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2010. – № 3. – С. 50–54.

УДК 681.121.84

ВИБІР ВЕРХНЬОЇ ГРАНИЦІ ПЕРЕПАДУ ТИСКУ ДИФМАНОМЕТРА ПІД ЗАДАНІ ПАРАМЕТРИ ДІАФРАГМИ ТА ТРУБОПРОВОДУ

© Лесовой Леонід, Кузик Володимир 2013

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів,
вул. Устияновича, 5, Львів, 79013, Україна

Наведено рівняння для визначення перепаду тиску на діафрагмі та розроблено алгоритм вибору верхньої границі перепаду тиску диференціального манометра.

Приведено уравнение для определения перепада давления на диафрагме и разработан алгоритм выбора верхней границы перепада давления дифференциального манометра.

The article describes the equation for determining the pressure drop across the orifice plate and algorithm selection upper limit differential pressure differential manometer.

Постановка проблеми. Під час проектування витратомірів змінного перепаду тиску та встановлених витратомірів на пунктах обліку природного газу виникає задача визначення верхньої границі перепаду тиску дифманометра під задані характеристики стандартного звужувального пристрою та вимірювального трубопроводу під задане максимальне значення витрати природного газу. Розроблення залежності визначення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої та алгоритму визначення верхньої границі перепаду тиску дифманометра – актуальне завдання під час проектування таких витратомірів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз показав, що Пістун, Лесовой і Крук [1] отримали аналітичне рівняння для визначення значення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої у вигляді

$$Dp = \frac{2 \cdot k \cdot p}{3 \cdot (0.41 + 0.35 \cdot m^2)} \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{1}{3} \cdot \arccos \left(1 - \frac{13.5 \cdot B_{pd} \cdot (0.41 + 0.35 \cdot m^2)}{k \cdot (a \cdot m)^2} \right) \right) \right), \quad (1)$$

де Dp – перепад тиску на стандартному звужувальному пристрої; p – абсолютний тиск газоподібного середовища; k – показник адіабати газоподібного середовища; a – коефіцієнт витрати стандартного звужувального пристрою; m – відносна площа стандартного звужувального пристрою; B_{pd} – безрозмірний комплекс, який залежить від одиниць вимірювання витрати і визначається за рівняннями, наведеними в [1].

З рівняння (1) визначали перепад тиску на стандартному звужувальному пристрої. Рівняння (1) отримано із застосуванням аналітичної залежності коефіцієнта розширення газоподібного середовища, яке наведене за старим нормативним документом РД 50-213-80 [2].

У 2010 р. в Україні діють національні стандарти України з вимірювання витрати рідких та газоподібних середовищ ДСТУ ГОСТ 8.586.1,2:2009 [3, 4], відповідно до яких змінені всі коефіцієнти та параметри рівняння витрати середовища. Тому, щоб знайти верхню границю перепаду тиску диференціального манометра, необхідно розробити нове аналітичне рівняння для визначення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої.

Проведеними дослідженнями встановлено, що відносне відхилення між значенням перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої, знайденим з рівняння (1), та значенням перепаду тиску, яке розраховано ітераційно за коефіцієнтами, що входять у рівняння витрати природного газу відповідно до ДСТУ ГОСТ 8.586.1,2:2009 [3,4], може становити 29 %. Таке відносне відхилення неможливе у разі визначення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої. Тому необхідно розробити нове аналітичне рівняння для розрахунку перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої.

Формулювання цілі. Отримати рівняння для визначення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої, як функцію параметрів діафрагми, вимірювального трубопроводу та витрати природного

газу, а також на підставі цього рівняння розробити алгоритм вибору верхньої границі вимірювання перепаду тиску дифманометра.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до національного стандарту України ДСТУ ГОСТ 8.586.2:2009 [2] розрахунок значення об'ємної витрати q_c природного газу, приведеної до стандартних умов, здійснюють за рівнянням

$$q_c = \frac{p}{4} \cdot b^2 \cdot D^2 \cdot C \cdot E \cdot e \cdot K_u \cdot K_n \sqrt{2 \cdot D p \frac{p \cdot T_c}{r_c \cdot p_c \cdot T \cdot K}}, \quad (2)$$

де D – внутрішній діаметр вимірювального трубопроводу за робочої температури; b – відносний діаметр діафрагми; C – коефіцієнт витікання діафрагми; E – коефіцієнт швидкості входу; e – коефіцієнт розширення газоподібного середовища; K_u – поправковий коефіцієнт, який враховує шорсткість внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу; K_n – поправковий коефіцієнт, який враховує притуплення вхідного канта діафрагми; r_c – густина газоподібного середовища за стандартних умов ($p_c = 101325 \text{ Па}$ і $T_c = 293.15 \text{ К}$); T – термодинамічна температура газоподібного середовища; K – коефіцієнт стискуваності газоподібного середовища.

Для того, щоб отримати рівняння розрахунку перепаду тиску Dp на діафрагмі, необхідно виділити з рівняння (2) безрозмірний комплекс, який залежить від вхідних величин та відносного діаметра звужувального пристрою і не залежить від перепаду тиску на діафрагмі. З рівняння (2) знайдено цей безрозмірний комплекс B

$$B = \frac{8 \cdot r_c \cdot p_c \cdot T \cdot K}{T_c} \cdot \left(\frac{q_c}{p \cdot C \cdot E \cdot K_u \cdot K_n \cdot b^2 \cdot p \cdot D^2} \right)^2. \quad (3)$$

Запишемо коефіцієнти, які входять в рівняння (3), для визначення безрозмірного комплексу B .

Коефіцієнт витікання діафрагми C характеризує відношення дійсного значення витрати газоподібного середовища до його теоретичного значення, його визначають за рівнянням Reader-Harris/Gallagher [4]

$$C = 0.5961 + 0.0261 \cdot b^2 - 0.216 \cdot b^8 + 0.000521 \cdot \left(\frac{10^6 \cdot b}{Re} \right)^{0.7} + (0.0188 + 0.0063 \cdot A) \cdot b^{3.5} \cdot \left(\frac{10^6}{Re} \right)^{0.3} +$$

$$+ (0.043 + 0.08 \cdot e^{-10 \cdot L_1} - 0.123 \cdot e^{-7 \cdot L_1}) \cdot (1 - 0.11 \cdot A) \frac{b^4}{1 - b^4} - 0.031 \cdot (M'_2 - 0.8 \cdot M_2'^{1.1}) \cdot b^{1.3} + M_3, \quad (4)$$

де

$$A = \left(\frac{19000 \cdot b}{Re} \right)^{0.8}; \quad M'_2 = \frac{2 \cdot L'_2}{1 - b};$$

$$M_3 = \begin{cases} 0 & \text{для } D \geq 0.07112(2.8'') \\ 0.011 \cdot (0.75 - b) \cdot \left(2.8 - \frac{D}{0.0254} \right) & \text{для } D < 0.07112(2.8'') \end{cases};$$

Значення коефіцієнтів L_1 та L'_2 залежать від способу відбору тиску на діафрагмі і розраховують відповідно за рівняннями:

– для діафрагм з кутовим способом відбору перепаду тиску

$$L_1 = L'_2 = 0;$$

– для фланцевого способу відбору перепаду тиску

$$L_1 = L'_2 = \frac{0.0254}{D};$$

– для діафрагм із трирадіусним способом відбору перепаду тиску

$$L_1 = 1; \quad L'_2 = 0.47.$$

Коефіцієнт швидкості входу E визначають за формулою [3]

$$E = \frac{1}{\sqrt{1 - b^4}} \quad (5)$$

Рівняння для розрахунку значення поправкового коефіцієнта K_n , який враховує притуплення вхідного канта діафрагми, представлено залежністю [4]

$$K_n = \begin{cases} 1 & \text{для } r_k / b / D \leq 0.0004 \\ 0.9826 + (r_k / b / D + 0.0007773)^{0.6} & \text{для } r_k / b / D > 0.0004 \end{cases}, \quad (6)$$

де r_k – поточний радіус притуплення вхідного канта діафрагми, який розраховують за рівнянням [4]

$$r_k = a - (a - r_n) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}},$$

де a – коефіцієнт, який залежить від типу середовища і набуває значень, що дорівнюють: $a = 0.000195$ – для газу і $a = 0.00019$ – перегрітої пари; r_n – початковий радіус вхідного канта діафрагми; t – проміжок часу експлуатації діафрагми з моменту виміру початкового радіуса r_n .

Рівняння для розрахунку значення поправкового коефіцієнта K_u , який враховує шорсткість внутрішньої

поверхні вимірювального трубопроводу, подано залежністю [4]

$$K_u = \begin{cases} 1 & \text{для } Ra_{\min} < Ra < Ra_{\max} \\ 1 + 5.22 \cdot b^{3.5} \cdot (1 - l^*) & \text{для } Ra \leq Ra_{\min} \text{ і } Ra \geq Ra_{\max} \end{cases}, \quad (7)$$

де λ і λ^* – коефіцієнти тертя, значення яких розраховані за дійсного числа Re і еквівалентної шорсткості трубопроводу, що дорівнюють її дійсному значенню R_u і допустимому значенню R_u^* , відповідно.

Значення λ і λ^* розраховують за формулою

$$l = \left\{ 1.74 - 2 \cdot \lg \left[\frac{2 \cdot R_u}{D} - \frac{37.36 \cdot \lg(k_D - k_R \cdot \lg(k_D + 3.3333 \cdot k_R))}{Re} \right] \right\}^{-2},$$

де

$$k_D = 0.26954 \cdot \frac{R_u}{D};$$

$$k_R = \frac{5.035}{Re};$$

$$R_u^* = \begin{cases} p \cdot Ra_{\max} & \text{для } Ra > Ra_{\max} \\ p \cdot Ra_{\min} & \text{при } Ra < Ra_{\min} \end{cases},$$

де $Ra_{\max}$ – максимальне допустиме значення середнього арифметичного відхилення профілю шорсткості внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу; $Ra_{\min}$ – мінімальне допустиме значення середнього арифметичного відхилення профілю шорсткості внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу.

Значення $Ra_{\max}$ обчислюють за рівнянням [4]

$$10^4 \cdot \frac{Ra_{\max}}{D} = \begin{cases} 0.718866 \cdot b^{-3.887} + 0.364 & \text{для } Re \leq 10^4 \text{ та } b < 0.65 \\ A_0 \cdot b^{A_1} + A_2 & \text{для } Re > 10^4 \text{ та } b < 0.65 \\ A_0 \cdot 0.65^{A_1} + A_2 & \text{для } Re > 10^4 \text{ та } b \geq 0.65 \end{cases},$$

де A_0 , A_1 , A_2 – коефіцієнти, які залежать від числа Re і розраховуються як

$$A_i = \sum_{k=0}^3 B_k \cdot [\lg(Re)]^k,$$

де B_k – постійні коефіцієнти, значення яких наведено в [4].

Значення $Ra_{\min}$ обчислюють з рівняння [4]

$$10^4 \cdot \frac{Ra_{\min}}{D} = \begin{cases} 7.1592 - 12.387 \cdot b - (2.0118 - 3.469 \cdot b) \cdot \lg(Re) + \\ + (0.1382 - 0.23762 \cdot b) \cdot [\lg(Re)]^2 & \text{для } b < 0.65; \\ -0.892353 + 0.24308 \cdot \lg(Re) - 0.0162562 \cdot [\lg(Re)]^2 & \text{для } b \geq 0.65 \end{cases}$$

Якщо в результаті розрахунку одержано значення

$$10^4 \cdot \frac{Ra_{\max}}{D} \geq 15, \text{ то приймають } Ra_{\max} = 15 \cdot 10^{-4} \cdot D.$$

Якщо в результаті розрахунку отримане значення

$$10^4 \cdot \frac{Ra_{\min}}{D} \leq 0, \text{ то приймають } Ra_{\min} = 0.$$

Значення $10^4 \cdot \frac{Ra_{\max}}{D}$ заокруглюють до двох зна-

чущих цифр, якщо $1 < 10^4 \cdot \frac{Ra_{\max}}{D} < 15$, і до однієї цифри

після коми, якщо $10^4 \cdot \frac{Ra_{\max}}{D} \leq 1$, а значення $10^4 \cdot \frac{Ra_{\min}}{D}$

заокруглюють до трьох цифр після коми.

Підставивши рівняння (3) у рівняння (2) і спростивши його, отримуємо рівняння, з якого можна знайти значення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої

$$e^2 \cdot \frac{Dp}{p} = B. \quad (8)$$

Відповідно до [4] запишемо рівняння коефіцієнта розширення e природного газу, що враховує зміну питомого об'єму природного газу, який протікає через діафрагму

$$e = 1 - (0.351 + 0.256 \cdot b^4 + 0.93 \cdot b^8) \cdot \left(1 - t^{\frac{1}{k}}\right). \quad (9)$$

де

$$t = 1 - \frac{Dp}{p} \quad (10)$$

Підставляючи рівняння (9) для визначення коефіцієнта розширення e газоподібного середовища у рівняння (8), отримуємо

$$\left[1 - (0.351 + 0.256 \cdot b^4 + 0.93 \cdot b^8) \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{Dp}{p}\right)^{\frac{1}{k}}\right) \right]^2 \cdot \frac{Dp}{p} = B \quad (11)$$

Як бачимо з рівняння (9), отримати аналітичний розв'язок для визначення перепаду тиску неможливо. Щоб отримати аналітичний розв'язок рівняння (9),

розкладемо вираз $\left(1 - \frac{Dp}{p}\right)^{\frac{1}{k}}$ у ряд Маклорена [xx]:

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} f^{(n)}(0) \frac{x^n}{n!} = f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)x^2}{2!} + \frac{f^{(n)}(0)x^n}{n!} \quad (12)$$

де $f(x)$ – функція вигляду $\left(1 - \frac{Dp}{p}\right)^{\frac{1}{k}}$; $x = \frac{Dp}{p}$;

$f', f'', f^{(n)}$ – відповідні часткові похідні функції $f(x)$

по $\frac{Dp}{p}$.

Кінцевий вигляд ряду (12) матиме такий вигляд

$$f\left(\frac{Dp}{p}\right) = 1 - \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{Dp}{p} + \frac{1}{2!} \cdot \left(\frac{1-\kappa}{\kappa^2}\right) \cdot \left(\frac{Dp}{p}\right)^2 + \dots + (-1)^n \cdot \frac{\left(\frac{1}{\kappa} - n + 1\right)!}{n!} \cdot \left(\frac{Dp}{p}\right)^n \quad (13)$$

Виразимо з рівняння (13) ряд, який складатиметься з нульового та першого члена

$$f\left(\frac{Dp}{p}\right) = 1 - \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{Dp}{p} \quad (14)$$

Підставимо ряд (14) у рівняння (11)

$$\left[1 - (0.351 + 0.256 \cdot b^4 + 0.93 \cdot b^8) \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{Dp}{p}\right)\right)\right]^2 \cdot \frac{Dp}{p} = B \quad (15)$$

Здійснвши спрощення, отримаємо рівняння

$$\left[1 - (0.351 + 0.256 \cdot b^4 + 0.93 \cdot b^8) \cdot \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{Dp}{p}\right]^2 \cdot \frac{Dp}{p} = B \quad (16)$$

Перетворивши рівняння (16), одержуємо кубічне рівняння відносно $\frac{Dp}{p}$ як

$$\left(\frac{Dp}{p}\right)^3 + A_1 \cdot \left(\frac{Dp}{p}\right)^2 + A_2 \cdot \left(\frac{Dp}{p}\right) + A_3 = 0; \quad (17)$$

$$A_0 = \frac{k}{0.351 + 0.256 \cdot b^4 + 0.93 \cdot b^8}; \quad (18)$$

$$A_1 = -2 \cdot A_0; \quad (19)$$

$$A_2 = A_0^2; \quad (20)$$

$$A_3 = -B \cdot A_2; \quad (21)$$

Виконавши заміну відповідно до [7]

$$Z = \frac{Dp}{p} - \frac{A_1}{3}, \quad (22)$$

зведемо рівняння (17) до канонічного вигляду

$$Z^3 + 3 \cdot q_0 \cdot Z + 2 \cdot q_1 = 0, \quad (23)$$

в якому

$$q_0 = \left(\frac{A_1}{3}\right)^2 \cdot \left(\frac{3 \cdot A_2}{A_1^2} - 1\right); \quad (24)$$

$$q_1 = \left(\frac{A_1}{3}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{4.5 \cdot A_2}{A_1^2} + \frac{13.5 \cdot A_3}{A_1^3}\right). \quad (25)$$

Врахувавши коефіцієнти A_0 , A_1 , A_2 та A_3 (18) – (21), визначимо коефіцієнти рівняння (24) та (25):

$$q_0 = -\left(\frac{A_1}{6}\right)^2; \quad (26)$$

$$q_1 = -\left(\frac{A_1}{6}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{13.5 \cdot B}{A_0}\right). \quad (27)$$

Для розв'язку рівняння (23) знайдемо дискримінант [7]

$$D_1 = q_1^2 + q_0^3 \quad (28)$$

який із урахуванням (26) та (27) дорівнюватиме

$$D_1 = -\left(\frac{A_1}{6}\right)^6 \cdot \frac{13.5 \cdot B}{A_0} \cdot \left(2 - \frac{13.5 \cdot B}{A_0}\right) \quad (29)$$

Аналізуючи можливі діапазони зміни вхідних величин в (26), (27) та (29), знаходимо, що $q_0 < 0$, $q_1 > 0$ і $D_1 < 0.3$ урахуванням з [7] розв'язком рівняння (23), буде

$$Z = -\left(\frac{A_1}{3}\right) \cdot \cos\left(\frac{1}{3} \cdot \arccos\left(1 - \frac{13.5 \cdot B}{A_0}\right)\right) \quad (30)$$

Використовуючи (22) та (30), запишемо кінцевий вираз для знаходження відношення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої до абсолютного тиску газоподібного середовища

$$Dp = \frac{2 \cdot k \cdot p}{3 \cdot (0.351 + 0.256 \cdot b^4 + 0.93 \cdot b^8)} \times \left(1 - \cos\left(\frac{1}{3} \cdot \arccos\left(1 - \frac{13.5 \cdot B \cdot (0.351 + 0.256 \cdot b^4 + 0.93 \cdot b^8)}{k}\right)\right)\right) \quad (31)$$

Отримане рівняння (31) дає змогу безпосередньо визначити для будь-яких вхідних даних, що входять у безрозмірний комплекс B , відношення $\frac{Dp}{p}$, а значить, і значення перепаду тиску Dp на стандартному звужувальному пристрої.

Алгоритм вибору верхньої границі перепаду тиску Dp_e дифманометра виконуємо за такими вхідними даними, як:

- поточне значення об'ємної витрати природного газу q_c , приведеної до стандартних умов, в одній із ниток колектора;
- спосіб відбору перепаду тиску для діафрагми;
- відносний діаметр b діафрагми;
- поточне значення абсолютного тиску p природного газу;
- поточне значення температури t природного газу в °С;
- матеріал, з якого виготовлено діафрагму, або коефіцієнт $a_{\text{лн}}$ лінійного розширення матеріалу, з якого її виготовлено;

– матеріал, з якого виготовлено вимірювальний трубопровід, або коефіцієнт a_{im} лінійного розширення матеріалу, з якого його виготовлено;

– залежно від виду труби, стану внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу і умов його експлуатації, відповідно до [2] вибирають середньо-арифметичне відхилення профілю шорсткості Ra або еквівалентну шорсткість R_{ω} ;

– початковий радіус r_n вхідного канта діафрагми та проміжок часу експлуатації діафрагми t з моменту вимірювання початкового радіуса r_n ;

– густина природного газу r_c за стандартних умов;

– молярна частка діоксиду карбону x_y та молярна частка азоту x_a у природному газі.

Запишемо алгоритм визначення верхньої границі перепаду тиску Dp_e дифманометра, коли через стандартний звукувальний пристрій проходить природний газ:

1) розраховують значення термодинамічної температури T природного газу за рівнянням

$$T = t + 273.15; \quad (32)$$

2) обчислюють коефіцієнт стискуваності K природного газу відповідно до [6];

3) розраховують показник адіабаты природного газу κ за рівнянням [5]

$$\begin{aligned} \kappa = & 1.556 \cdot (1 + 0.074 \cdot x_a) - 3.9 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot (1 - \\ & - 0.68 \cdot x_a) - 0.208 \cdot r_c + \left(10^{-6} \cdot \frac{p}{T} \right)^{1.43} \times \\ & \times \left[384 \cdot (1 - x_a) \cdot \left(10^{-6} \cdot \frac{p}{T} \right)^{0.8} + 26.4 \cdot x_a \right]; \end{aligned} \quad (33)$$

4) відповідно до [5] розраховують динамічну в'язкість природного газу m за рівнянням

$$m = 3.24 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{\sqrt{T} + 1.37 - 9.09 \cdot r_c^{0.125}}{\sqrt{r_c} + 2.08 - 1.5 \cdot (x_a + x_y)} \cdot C_m; \quad (34)$$

де

$$C_m = 1 + \frac{p_{pr}^2}{30 \cdot (T_{pr} - 1)}; \quad p_{pr} = \frac{p}{p_{pk}}; \quad T_{pr} = \frac{T}{T_{pk}};$$

$$p_{pk} = 2.9585 \cdot 10^6 \cdot (1.608 - 0.05994 \cdot r_c + x_y - 0.392 \cdot x_a);$$

$$T_{pk} = 88.25 \cdot (0.9915 + 1.759 \cdot r_c - x_y - 1.681 \cdot x_a);$$

5) визначають коефіцієнт K_{ω} , що враховує зміну діаметра отвору діафрагми, зумовлену відхиленням температури середовища від 20°C , за рівнянням [3]

$$K_{\omega} = 1 + a_{\omega} \cdot (t - 20). \quad (35)$$

Якщо заданий матеріал виготовлення діафрагми відповідає матеріалу, наведеному у [3], то значення a_{ω} , розраховують за рівнянням

$$a_{\omega} = 10^{-6} \cdot [a_0 + 10^{-3} \cdot t \cdot a_1 + 10^{-6} \cdot t^2 \cdot a_2]; \quad (36)$$

де a_0, a_1, a_2 – постійні коефіцієнти, значення яких знаходять відповідно до [3];

6) знаходять коефіцієнт K_m , що враховує зміну внутрішнього діаметра вимірювального трубопроводу, зумовлену відхиленням температури середовища від 20°C , за рівнянням [3]

$$K_m = 1 + a_m \cdot (t - 20). \quad (37)$$

Якщо заданий матеріал виготовлення вимірювального трубопроводу відповідає матеріалу, наведеному в [3], то значення a_m розраховують за рівнянням (36);

7) за значенням b розраховують коефіцієнт швидкості входу E за формулою (5);

8) розраховують значення числа Рейнольдса Re за рівнянням [3]

$$Re = \frac{4 \cdot q_c \cdot r_c}{p \cdot D \cdot m}; \quad (38)$$

9) розраховують коефіцієнт витікання C діафрагми за формулою (4);

10) за значеннями Re, D, b та Ra розраховують значення поправкового коефіцієнта K_{ω} , що враховує шорсткість внутрішньої поверхні трубопроводу, за рівнянням (7);

11) за значеннями D, b, r_n та t розраховують значення поправкового коефіцієнта K_n , що враховує пригнітлення вхідного канта діафрагми, за рівнянням (6);

12) розраховують безрозмірний комплекс B за рівнянням (3);

13) визначають перепад тиску Dp на стандартному звукувальному пристрої з рівняння (31);

14) вибирають верхню границю перепаду тиску Dp_e дифманометра як значення, більше за значення перепаду тиску на стандартному звукувальному пристрої зі стандартного ряду ГОСТ 18140 – 84 [8].

Висновки. У результаті проведеної роботи можна виокремити такі результати:

1. У роботі проаналізовано рівняння (1) для розрахунку перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої, який показав, що це рівняння неможливо застосовувати для визначення верхньої границі перепаду тиску Dp_* дифманометра, оскільки воно дає значення відносного відхилення між рівнянням (1) та рівнянням, розрахованим відповідно до [3], що становить 29 %.

2. Розроблено нове рівняння для розрахунку значення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої.

3. Розроблено алгоритм вибору значення верхньої границі перепаду тиску дифманометра.

Такий алгоритм можна застосовувати у розрахунку параметрів та характеристик витратоміра змінного перепаду тиску, оптимального за точністю вимірювання витрати та кількості газоподібного середовища.

1. Пистун Е.П. Аналитическое определение предельного номинального перепада давления дифференциальных манометров и относительной площади стандартных диафрагм расходомеров газа и пара / Е.П. Пистун, Л.В. Лесовой, И.С. Крук // Измерительная техника. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — № 10. — С. 30–33. 2. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами: РД 20-213-80. — Офиц. док. — М.: Изд-во стандартов, 1982. 3. Метрологія. Вимірювання

витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 1. Принцип методу вимірювань та загальні вимоги. (ГОСТ 8.586.1-2005 (ISO 5167-1:2003), IDT; ISO 5167-1:2003, NEQ) [Текст]: ДСТУ ГОСТ 8.586.1:2009. — [Чинний від 2010-04-01]. — К.: Держспоживстандарт України, 2010. — 98 с. — (Національний стандарт України). 4. Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужуючих пристроїв. Частина 2. Діафрагми. Технічні вимоги. (ГОСТ 8.586.2-2005 (ISO 5167-2:2003), IDT; ISO 5167-2:2003, NEQ) [Текст]: ДСТУ ГОСТ 8.586.2:2009. — [Чинний від 2010-04-01]. — К.: Держспоживстандарт України, 2010. — 90 с. — (Національний стандарт України). 5. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки: ГОСТ 30319.1-1996. — [Действующий от 1997-07-01]. — М.: Межгосударственный стандарт, 1997. — 20 с. 6. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости: ГОСТ 30319.2-1996. — [Действующий от 1996-12-04]. — М.: Госстандарт России, 1996. 7. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. — Изд. шестое, стереотипное. — М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1956. — 608 с. 8. Манометры дифференциальные ГСП. Общие технические условия. ГОСТ 18140-84. [Действующий от 1985-07-01]. — М.: Изд-во стандартов 2003. — 15 с.

УДК 681.267.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНО-ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ВАГОВИХ ПРИСТРОЇВ З МАГНІТНИМ ВУЗЛОМ СИЛОВВЕДЕННЯ

© Кім Богдан, Микола Слаженєв, 2013

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України,
бул. Вернадського, 34/1, 03680, м. Київ – 142, Україна.

Проаналізовано сучасні тензометричні ваги стосовно збереження їх метрологічних показників під час експлуатації в умовах дії випадкових або систематичних дестабілізуючих факторів. Наведено конструктивно-функціональні схеми розроблених пружно-тензометричних вагових пристроїв з магнітним вузлом силовведення. Представлено результати експериментальних досліджень цих пристроїв на фізичних моделях. Дано рекомендації щодо вибору раціональних параметрів вузла силовведення з урахуванням умов експлуатації.

Выполнен анализ современных тензометрических весов относительно сохранения их метрологических показателей при эксплуатации в условиях случайных или систематических дестабилизирующих факторов. Приведены конструктивно-функциональные схемы разработанных упруго-тензометрических весовых устройств с магнитным узлом силовведения. Представлены результаты экспериментальных исследований этих устройств на физических моделях. Даны рекомендации по выбору рациональных параметров узла силовведения с учетом условий эксплуатации.

The analysis of modern tensometric balance in relation to saving of its metrological indexes during exploitation in the conditions of accidental or systematic destabilizing factors executed. The structural-functional schemes of the developed resilient- tensometric weighting devices with the magnetic strength module are resulted. The results of experimental researches of its devices on physical models presented. Recommendations on the rational parameters choice for strength module taking into account external environments are given.

1. Вступ. Надійність сучасних тензометричних ваг багато в чому залежить від умов їх експлуатації. Так, наприклад, у технологічних процесах металургії, ливарного виробництва та деяких інших діють різноманітні дестабілізуючі фактори, які негативно впливають на метрологічні показники ваг, а в деяких випадках виводять їх з ладу. Це призводить до порушень технологічного процесу, а отже, до погіршення якості продукції. Тому створення нових і удосконалення наявних вагових пристроїв, призначених для використання у важких умовах виробництва, є актуальним завданням.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тензометричні ваги є найпоширенішими засобами вимірювання маси матеріалів в багатьох технологічних процесах. Особливо важкі умови експлуатації таких ваг у процесах дозування кускових, сипких матеріалів і металевих розплавів у металургійних технологічних процесах [1–4]. Так звані «чисті» тензометричні ваги, в яких сила, яка створена масою вантажу, що зважується, діє безпосередньо на три або чотири

тензометричні датчики, які розміщені під резервуаром (бункером) чи платформою відповідно, поряд з високими метрологічними характеристиками мають порівняно низьку перевантажувальну здатність. Згідно з даними провідних зарубіжних вагобудівних фірм, допустиме статичне перевантаження таких ваг становить 150 %, а пікове перевантаження – 300 % від найбільшої межі зважування (НМЗ), що обмежує їх застосування у деяких металургійних процесах [2]. До цих процесів належать, наприклад, зважування і дозування кускових і, особливо, великокускових шихтових матеріалів, коли діють систематичні або випадкові ударні навантаження на силовимірювальні датчики ваг, які перевищують допустимі пікові перевантаження. Під час дозування сипких матеріалів і металевих розплавів в умовах металургійних виробництв також можливі випадкові ударні збурення та знакозмінні або вібраційні навантаження, що призводить до похибок зважування і дозування.

Існують різноманітні методи і засоби захисту тензометричних ваг від перенавантажень, одним з яких

є застосування механічних обмежувачів (упорів) [5]. Враховуючи, що пружні елементи тензометричних датчиків мають велику жорсткість, їх деформації під час навантаження незначні. Це ускладнює регулювання повітряного зазора між вантажоприймальною платформою і обмежувачами.

Установлено, що найефективнішого підвищення ударостійкості, а отже, і надійності тензометричних ваг можна досягти, створивши гібридні конструкції силовимірювального механізму (СМ), які забезпечують поглинання кінетичної енергії удару до силового входу силовимірювальних датчиків. Однією з таких конструкцій є пружинно-тензометричний СМ, розроблений у Фізико-технологічному інституті металів та сплавів НАН України (ФТІМС), який реалізує спосіб подвійного перетворення сили, створеної масою вантажу, що зважується, на електричний сигнал [6]. Цей спосіб передбачає перетворення сили F , створеної масою m_v вантажу, на лінійне переміщення δ_z центра жорсткості пружно підвішеної вантажоприймальної платформи, перетворення δ_z на силу F_n за допомогою передавального пружного елемента і введення її на силовий вхід силовимірювального датчика, вихідний сигнал котрого пропорційний до m_v вантажу.

Важливою конструктивною особливістю СМ пружинно-тензометричних ваг є використання в ньому одного силовимірювального датчика (замість чотирьох) з набагато меншим, за інших однакових умов, номінальним навантаженням, що помітно зменшує вартість таких ваг порівняно з «чистими» платформними вагами на чотирьох тензометричних датчиках.

3. Формулювання цілей статті. Основною метою цієї роботи є удосконалення конструкції вузла силовведення СМ пружинно-тензометричних платформних ваг заміною силопередавальної пружини на безконтактний магнітний вузол силовведення. Завдання роботи полягає у вивченні ефективності запропонованих нових технічних рішень пружинно-тензометричних ваг порівняно з наявними аналогами фізичним моделюванням процесу вимірювальної маси.

4. Виклад основного матеріалу. Згідно з результатами раніше виконаних експериментальних досліджень і виробничих випробувань пружинно-тензометричних платформних ваг технологічного призначення з вузлом силовведення у вигляді каліброваної пружини стиснення установлено, що засто-

сування силопередавальної пружини або іншого пружного елемента силовведення ускладнює кінематику ваг, призводить до появи додаткового джерела похибок вимірювання маси [6].

З метою спрощення конструкції силопередавального вузла і підвищення службових характеристик у ФТІМС розроблено пружно-тензометричні платформні ваги [7, 8], в яких платформа установлена на чотирьох пружних елементах подвійного вигину, а вузол силовведення виконано безконтактним на основі постійних магнітів (рис. 1).

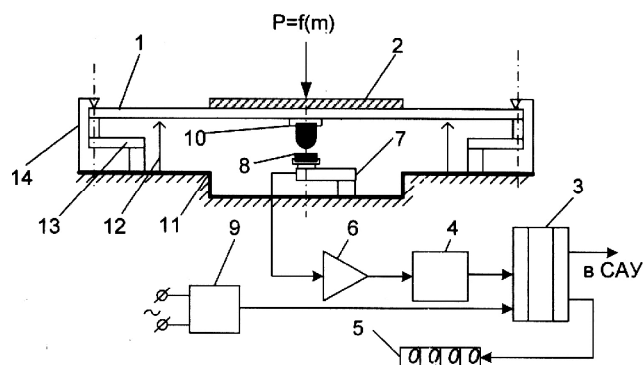


Рис. 1. Пружно-тензометричні платформні ваги з безконтактним вузлом силовведення на основі стрижневих магнітів, що працюють на відштовхування

Платформа 1 установлена на чотирьох пружних елементах 8 подвійного вигину, закріплених на основі 13. Переміщення платформи 1 у вертикальній площині обмежене нижніми 6 і верхніми 7 механічними упорами. У центрі симетрії платформи 1 розташована гумова накладка 2. У центрі жорсткості платформи 1 закріплено верхній постійний магніт 4 з напівсферичною робочою поверхнею і можливістю його переміщення по вертикальній осі за допомогою спеціального механізму (на схемі не показаний). Нижній постійний магніт 3 із плоскою робочою поверхнею закріплений на силовому вході силовимірювального датчика 5 співвісно з магнітом 4. Датчик 5 закріплений на нерухомій основі 13 з можливістю переміщення у горизонтальній площині за двома координатами при налагоджуванні ваг. Між магнітами 3 і 4, однойменні полюси котрих спрямовані назустріч один одному, встановлюють калібрований повітряний зазор δ_0 , величина якого залежить від магнітних характеристик магнітів 3 і 4 та від діапазону зважування. Вихід датчика 5 через підсилювач 11 сигналу та аналого-цифровий перетворювач 10 під'єднаний до мікропроцесорного блока 9 вимірювання та індикації маси

на цифровому індикаторі 12. Живлення елементів ваговимірювальної схеми здійснюється від блока 13 живлення, під'єданого до мережі змінного струму напругою 220 В.

Результати експериментальних досліджень, виконаних на фізичній моделі розроблених пружно-тензометричних ваг з безконтактним магнітним вузлом силового виведення (рис. 1) при НМЗ 5000 г показали, що максимальна похибка від нелінійності залежності $\bar{C} = f(m)$ у діапазоні 1 мм не перевищує 0,5 % від НМЗ. В результаті програмної лінеаризації цієї залежності у блоці 9 відносна похибка зважування не перевищувала 0,05 % від НМЗ. Статичну характеристику вагового пристрою з безконтактним вузлом силового виведення наведено на рис. 2, де $\bar{C}$ – середнє значення показань індикатора у поділках.

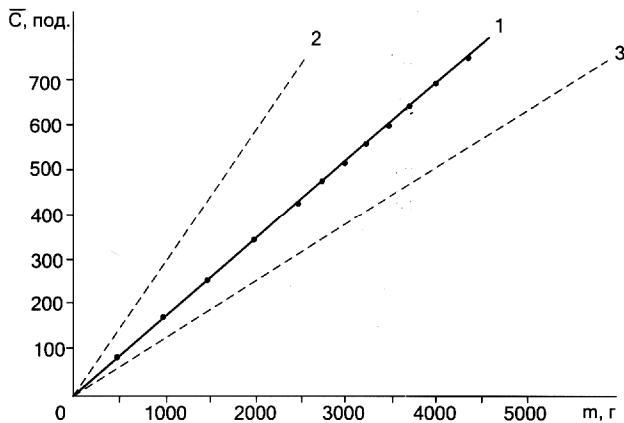


Рис. 2. Залежність $\bar{C} = f(m)$ за безконтактного вузла силового виведення: 1 – для фізичної моделі, що досліджувалась; 2, 3 – верхня і нижня межа діапазону зважування, відповідно

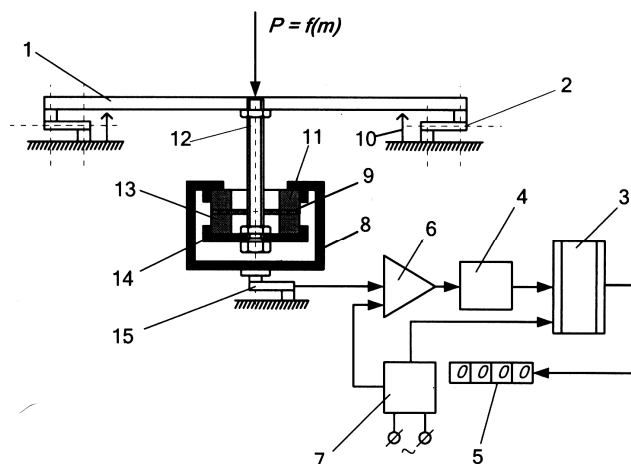


Рис. 3. Пружно-тензометричні платформні ваги з комбінованим вузлом силового виведення

Розроблено ще одну конструкцію пружно-тензометричних платформних ваг з комбінованим вузлом силового виведення (рис. 3), виконаним на постійних кільцевих магнітах, робочі поверхні котрих мають протилежну полярність, тобто притягнуті одна до одної у вихідному стані. Платформа 1 установлена на чотирьох пружних елементах 2 подвійного вигину, закріплених на нерухомій основі. Переміщення платформи 1 у вертикальній площині обмежене механічними упорами 10. У центрі жорсткості платформи 1 закріплено стрижень 12, з'єднаний з немагнітною підставкою 14, на якій закріплено постійний кільцевий магніт 13. Другий кільцевий магніт 11 закріплений співвісно з магнітом 13 у корпусі 8 з немагнітного матеріалу. Між магнітами 11 і 13 розташована немагнітна прокладка 9, яка необхідна для пом'якшення стикування магнітів в умовах дії вібраційних і ударних збурень. Силовий вхід силовимірювального тензорезисторного датчика 15 з'єднаний з центром симетрії корпусу 8. Електричний вихід датчика 15 через підсилювач 6 і аналого-цифровий перетворювач 4 під'єднаний до мікропроцесорного блока 3 з цифровим індикатором 5. Живлення вимірювальної схеми здійснюється від блока 7 живлення, під'єданого до мережі змінного струму напругою 220 В.

Платформні ваги працюють так. У вихідному стані магніти 11 і 13 притягнуті один до одного і платформа 1 з'єднана з силовим входом датчика 15, платформа 1 не навантажена, вихідний сигнал датчика 15 дорівнює нулю і на індикаторі 5 також висвітлені нулі в усіх розрядах. Після встановлення вантажу, який необхідно зважити, на платформу 1 пружні елементи 2 стискаються на відповідну величину. В результаті на силовому вході датчика 15 з'являється сила P , пропорційна до маси m вантажу. Вихідний сигнал датчика 15 надходить через блоки 6 і 4 у блок 3 і на індикаторі 5 висвітлюється маса m вантажу. Після зняття вантажу з платформи 1 силовимірювальний механізм ваг повертається у вихідний стан і на індикаторі 5 висвітлюються нулі. Якщо сила $P = f(m)$ перевищує силу F_M стискання між магнітами 11 і 13, між ними виникає повітряний зазор, механічний зв'язок між платформою 1 і датчиком 15 зникає, що забезпечує захист датчика 15 від перевантажень, а отже, підвищує надійність цих ваг.

У результаті досліджень на фізичній моделі пружно-тензометричних ваг з комбінованим вузлом силового виведення установлено, що залежність $P = f(m)$ лінійна до моменту виникнення повітряного зазору між магнітами 11 і 13. У разі подальшого навантаження

платформи передача сили P на силовий вхiд датчика 15 здійснюється через повітряний зазор між магнітами 11 і 13, а залежність $P = f(m)$ змінює знак, тобто у разі збільшення навантаження на платформу 1 показання зменшуються (рис. 4). Отже, запропонований комбiнований вузол силовведення розширює можливості ваговимірjувальної схеми щодо реалізації різних способів зважування і дозування за рахунок магнітного зв'язку між вантажоприймальною платформою і силовимірjувальним датчиком. Експериментально встановлено, що відносна похибка таких ваг не перевищувала 0,05 % від НМЗ, що цілком задовольняє вимоги до технологічних ваг. Крім того, проведено випробування цих ваг в умовах дії ударних, вібраційних і неосьових навантажень (систематичних і випадкових). Встановлено, що метрологічні характеристики ваг після таких випробувань залишались незмінними, що свідчить про їх придатність до експлуатації у важких умовах виробництва.

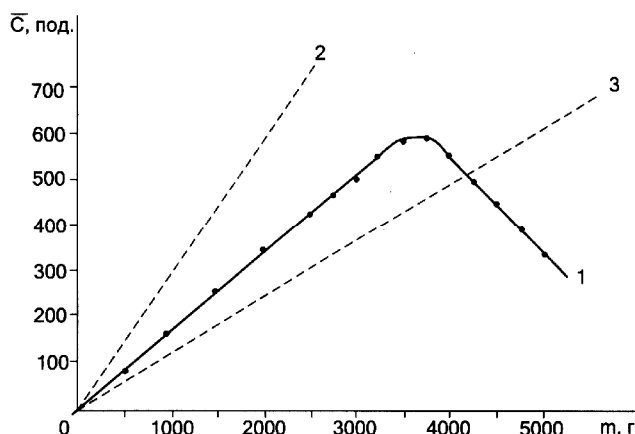


Рис. 4. Залежність $\bar{C} = f(m)$ для комбiнованого вузла силовведення: 1 – для фізичної моделі, що досліджується; 2, 3 – верхня і нижня межа діапазону зважування, відповідно

5. Висновки

- Запропоновані нові конструктивні рішення пружно-тензометричних платформних ваг з безконтактним і комбiнованим вузлами силовведення на основі постійних магнітів.
- Експериментально встановлено на фізичних моделях цих ваг їх придатність для експлуатації в умовах дії дестабілізуючих факторів.
- Отримані результати експериментів будуть використані для розроблення дослідно-промислових зразків таких ваг.

1. Бауманн Э. Измерение сил электрическими методами. – М.: Мир, 1978. – 381 с. 2. Гроссман Н.Я., Шнырев Г.Д. Автоматизированные системы взвешивания и дозирования. – М.: Машиностроение, 1988. – 296 с. 3. Средства и системы автоматизации литейного производства / К.С. Богдан, В.Н. Горбенко, В.М. Денисенко, Ю.П. Каширин. – М.: Машиностроение, 1981. – 272 с. 4. Кукуй Д.М., Одинок В.Ф. Автоматизация литейного производства. – Минск: Новое знание, 2008. – 240 с. 5. Богдан К.С. Конструктивные особенности и динамические свойства пружинно-тензометрических дозирочных весов для литейных материалов // Процессы литья. – 2007. – № 4. – С. 71 – 75. 6. Пат. 2026535 RU МКІР⁶ G01G 19/00. Устройство для взвешивания / К.С. Богдан, Н.С. Струтинский. – Оpubл. 10.01.1995, Бюл. № 1. 7. Пат 84090 на винахід UA, МПК(2006) G01G 19/00. Пристрій для зважування / К.С. Богдан, А.О. Санкін. – Оpubл. 10.09. 2008, Бюл. № 17. 8. Пат. 68192 на корисну модель UA, МПК G01G 19/413. Електромеханічні ваги / К.С. Богдан, А.О. Санкін. – Оpubл. 26.03. 2012. – Бюл. № 6.

УДК 681.121.89.082.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ПОТОКУ ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ІЗ ДІАМЕТРАЛЬНИМ АКУСТИЧНИМ КАНАЛОМ

© Роман Віталій, Матіко Федір, 2013

Національний університет «Львівська політехніка», кафедра автоматизації теплових та хімічних процесів,
вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна

*Викладено результати моделювання впливу спотворень профілю швидкості потоку на похибку
одноканального ультразвукового перетворювача витрати із діаметральним розміщенням
акустичного каналу.*

*Изложены результаты моделирования влияния искажений профиля скорости потока на погрешность
одноканального ультразвукового преобразователя расхода с диаметрально размещением
акустического канала.*

*The paper presents the results of modeling of flow profile distortions on the accuracy of single channel ultrasonic flow
transducer with diametrically placing acoustic channel.*

Вступ. Одним із сучасних методів вимірювання витрати та кількості газу (зокрема і природного), що протікає через трубопровід круглої форми, є ультразвуковий метод. Завдяки своїм перевагам метод широко впроваджується у багатьох галузях промисловості, зокрема і в галузі транспортування та розподілу природного газу [6].

Перетворювачі витрати на базі ультразвукового методу в процесі роботи використовують різні способи поширення і обробки ультразвукового імпульсу і, внаслідок цього, мають різноманітні конструктивні виконання. Серед відомих сьогодні ультразвукових перетворювачів витрати (УЗПВ) існують конструкції із діаметральними акустичними каналами встановленими під певним кутом до осі трубопроводу [1]. Незважаючи на це, всі УЗПВ тією чи іншою мірою зазнають дії різноманітних факторів, що впливають на їх метрологічні характеристики. Серед цих факторів виділяють два класи: внутрішні (переважно залежать від самого УЗПВ) та зовнішні (які залежать від газового середовища) [3, 4]. Кожен з цих класів налічує багато факторів, які в тій чи іншій інсталяції чи методі, що реалізується в УЗПВ, намагаються зменшити або зовсім ліквідувати.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вплив різноманітних факторів на метрологічні характеристики УЗПВ досліджено у багатьох наукових працях. Зокрема, щодо досліджень впливу спотво-

реного профілю швидкості потоку (як одного із факторів) на похибку УЗПВ, у роботі [5] наведено приклади програмних засобів «Kalibra» (розробник Ruhrgas AG, Німеччина) та «GARUSO» (Норвегія), за допомогою яких виконують прогнозування похибки УЗПВ під час вимірювання швидкості газових потоків зі спотвореним внаслідок дії місцевих опорів профілем швидкості. Названі програми дають змогу сформувати рекомендації щодо збільшення кількості та виду вимірювальних променів (діаметральні або хордові) для конкретного УЗПВ. Також дослідження впливу цього фактора проводять у багатьох програмних засобах, що реалізують методи обчислювальної гідродинаміки (CFD – Computational Fluid Dynamics), а саме програмні пакети ANSYS Fluent, SolidWork (FloWorks), Comsol Multiphysics, Flow Vision, Matlab (PDE Toolbox, FEMLAB) та інші.

Теоретичну базу цього напряму заклали такі науковці, як Achim Hilgenstock (спеціаліст Ruhrgas AG) та Thomas Huwener (University of Essen) – одні з розробників програмного засобу «Kalibra», Lawrence C. Lynnworth (провідний інженер Panametrics), Jeker Delsing, Joel Clancy, Mario Kupnik, Per Lunde, Kjell-Elvind Froysa, П.П. Кремльовський, В.І. Філатов [1, 5, 8, 9] та багато інших, у роботах яких викладено фундаментальні засади ультразвукової витратометрії та принципи конструювання УЗПВ.

Для побудови УЗПВ розроблено та впроваджено ряд конструкцій, у яких поширення ультразвукових

імпульсів відбувається у діагональних площинах (площина, що завжди проходить через вісь трубопроводу). Своєю чергою, сам ультразвуковий імпульс випромінюється в газовий потік під певним кутом до осі вимірювального трубопроводу. Тому актуальним є завдання дослідження впливу спотворень кінематичної структури потоку на результат вимірювання швидкості газового потоку за допомогою УЗПВ із діаметральним акустичним каналом, встановленим під певним кутом до осі трубопроводу, як показано на рис.1.

Мета роботи – дослідити вплив спотворення профілю швидкості потоку на похибку УЗПВ та розробити рекомендації для удосконалення їх конструкції, щоб зменшити додаткову похибку внаслідок спотворення профілю швидкості потоку.

Для досягнення цієї мети в роботі виконано такі завдання:

1. За допомогою CAD (Computer Aided Design) / CEA (Computer Aided Engineering) – програми SolidWorks та її додаток FloWorks виконано моделювання потоку газу через ділянку вимірювального трубопроводу з місцевим опором (МО) “90° коліно”, на якій встановлено УЗПВ із діаметральним акустичним каналом.

2. На основі отриманих за допомогою SolidWorks результатів моделювання досліджено зміни профілю швидкості потоку після МО “90° коліно” вздовж вимірювальної ділянки трубопроводу.

3. Визначено оптимальний кут акустичного каналу відносно площини, в якій міститься 90° коліно, що забезпечує мінімальну похибку вимірювання швидкості потоку.

4. За результатами моделювання розроблено рекомендації щодо мінімізації впливу спотворення потоку на точність вимірювання швидкості за допомогою однопроменевого УЗПВ.

Виклад матеріалу. В практиці обліку природного газу та інших енергоносіїв застосовують [4, 10] УЗПВ із діаметральним акустичним каналом. Схематичне зображення конструкції таких УЗПВ наведено на рис. 1.

Серед конструкцій УЗПВ із діаметральним акустичним каналом виділяють такі:

1. Одноканальні УЗПВ (рис. 1, а) без відбивання акустичного променя, до складу яких входять два електроакустичні перетворювачі (ЕАП), що поперемінно реалізують функцію випромінювання акустичного імпульсу та його приймання.

2. Одноканальні УЗПВ (рис.1, б) з відбиванням акустичного променя від стінки УЗПВ або трубопроводу (відбивання може бути як одиничне, так і багаторазове).

3. Багатоканальні УЗПВ без відбивання акустичних променів.

4. Багатоканальні УЗПВ з відбиванням акустичних променів.

Для всіх цих конструкцій УЗПВ спотворення профілю швидкості потоку, які виникають після МО, тією чи іншою мірою впливають на точність вимірювання швидкості потоку і, відповідно, витрати.

Прямим способом усунення спотворення профілю швидкості потоку перед витратоміром є збільшення довжини прямолінійної ділянки перед УЗПВ. Цей спосіб потребує дослідження структури потоку після різних типів МО та визначення необхідних довжин прямолінійних ділянок. Інший спосіб полягає у застосуванні засобів підготовки потоку, встановлених перед УЗПВ. Проте в реальних умовах не завжди є можливість цю відстань збільшити або встановити пристрій підготовки потоку. Тоді виникає завдання удосконалення конструкції УЗПВ, щоб зменшити вплив спотворень потоку на результати вимірювання.

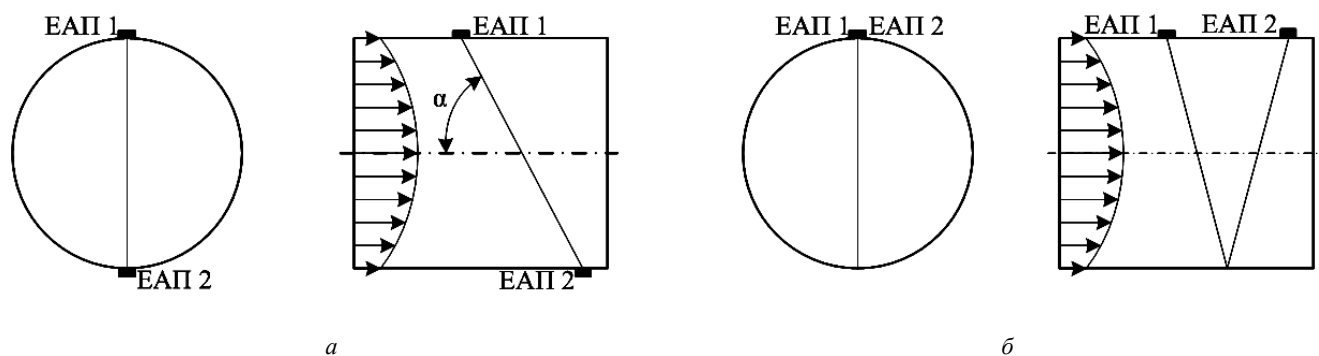


Рис. 1. Спрощена схема УЗПВ із діаметральним акустичним каналом:

а – одноканальний УЗПВ без відбивання променя; б – одноканальний УЗПВ із відбиванням променя

У цій роботі досліджено УЗПВ з одиничним діаметральним акустичним каналом, який для вимірювання швидкості газового потоку реалізує ультразвуковий різницевий часоімпульсний метод [2] без відбивання акустичного імпульсу та з наявністю двох ЕАП (рис. 1, а). Серед пропонуєваних на ринку УЗПВ ця конструкція реалізована у таких типах:

1. FLOWSIC 300R (виробник SICK MAIHAK) призначений для технологічного та комерційного обліку попутного нафтового, факельного, природного газів там, де точність, працездатність, довговічність і надійність має величезне значення.

2. FGM160 (виробник Fluenta AS) (Норвегія) спеціально розроблений для вимірювання витрати попутного нафтового газу, факельного газу і відхідних димових газів у великих газопроводах у разі значних коливань витрат і тисків.

3. PanaFlow конструкція «С» (виробник GE Panametrics) призначений для вимірювання витрати скраплених природних газів, стиснутих природних газів, паливних газів, газоподібних вуглеводнів.

Для моделювання процесу протікання газу у вимірювальному трубопроводі застосовано програмний пакет для обчислювальної гідродинаміки SolidWorks (FloWorks). Для числового розв'язання задач SolidWork застосовує метод кінцевих об'ємів і нестационарне рівняння Нав'є–Стокса, усереднене за Рейнольдсом (прийняте скорочення RANS), і теплопередачі. Усереднення за Рейнольдсом рівнянь Нав'є–Стокса означає, що для моделювання використовуються усереднені за малим масштабом часу впливи турбулентності на параметри потоку, а великомасштабні часові зміни усереднених за малим масштабом часу складових газодинамічних параметрів потоку (тиску, швидкості, температури) враховуються введенням відповідних похідних за часом. Дискретизація рівнянь виконується в консервативній формі, часткові похідні апроксимуються за допомогою різницевих схем із похибкою, порядок якої дорівнює квадрату кроку дискретизації моделі, похідні за часом – за неявною схемою Ейлера першого порядку [7].

У середовищі SolidWorks побудували твердотілу модель ділянки вимірювального трубопроводу, на якій встановлено УЗПВ. Для опису граничних умов у моделі вимірювального трубопроводу на його вході та виході встановлено допоміжні тіла (“заглушки”), які описують вміст вхідного та вихідного потоків. Поверхні “заглушок” обмежують розрахункову сітку. Під

час моделювання програмою встановлюється напрям потоку, перпендикулярний до цих поверхонь.

Моделювання вимірювального трубопроводу виконано для умови твердої непроникної адіабатичної стінки трубопроводу (умова Wall на стінках труби). На вхідній поверхні (вхідна заглушка) задано значення вхідної масової витрати (гранична умова Inlet Mass Flow) із задаванням температури потоку і параметрів турбулізації. На вихідній поверхні (вихідна заглушка) задано вихідний статичний тиск (гранична умова Static Pressure).

Вигляд модельованої ділянки вимірювального трубопроводу та її основні конструктивні параметри показано на рис. 2.

У зображеній моделі вимірювального трубопроводу УЗПВ розглядається як секція вимірювального трубопроводу завдовжки L . По довжині цієї секції розглядаємо сім перерізів, у кожному з яких моделюється розподіл швидкості по всьому перерізу. Початковий переріз відповідає входу в УЗПВ, а сьомий переріз відповідає виходу з УЗПВ (див. рис. 3). Кожен із сімох перерізів має певне розташування відносно осі Z , це розташування характеризується числом або координатою на осі OZ . Різниця між координатою сьомого перерізу і першого – це довжина вимірювальної секції УЗПВ, яка позначена на рис. 3 літерою L . За результатами аналізу конструкції серійних УЗПВ прийнято для моделювання значення $L = 1,8D$.

Після завантаження даних із сімох масивів, які містять значення швидкості в кожній точці перерізів, у програмному середовищі Matlab обчислюють усереднену швидкість потоку, яку вимірює одиничний діаметральний акустичний промінь, що пронизує всі сім перерізів. Усереднена швидкість потоку по довжині променя УЗПВ розраховується на основі значень, що знаходять у кожному із семи перерізів. Значення усередненої по акустичному каналу УЗПВ швидкості потоку V , обчислені для різних відстаней секції УЗПВ від МО “90° коліно”, наведені у таблиці.

Для кожного із отриманих значень швидкості V обчислено абсолютну похибку вимірювання Δ

$$\Delta = V - V_{\text{стаб}}, \quad (1)$$

де V – швидкість потоку, усереднена по довжині променя УЗПВ; $V_{\text{стаб}}$ – швидкість потоку, усереднена по довжині променя такого самого просторового розміщення, що й у секції УЗПВ, розміщеного на відстані $110D$ після МО “90° коліно”, тобто на відстані, достатній для відновлення структури потоку.

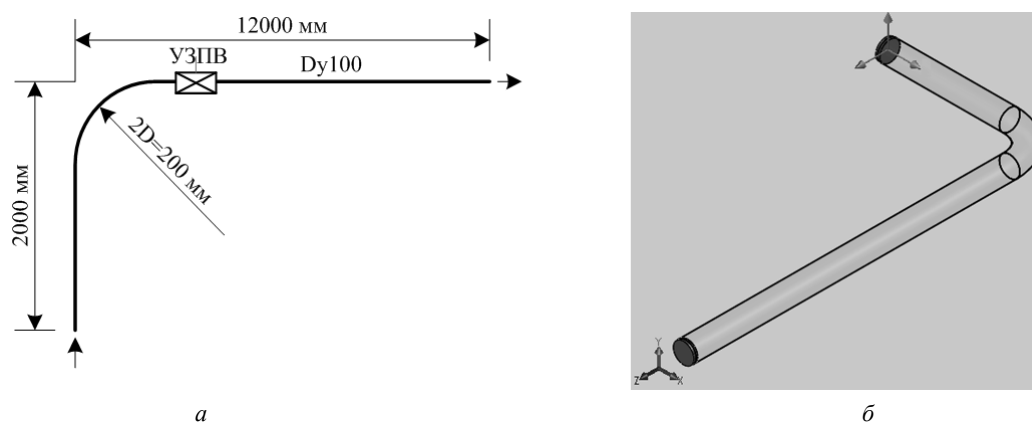


Рис. 2. Ділянка виміррювального трубопроводу для моделювання спотворення структури потоку в програмі SolidWorks (FloWorks): а – розрахункова схема; б – вигляд твердотілої моделі

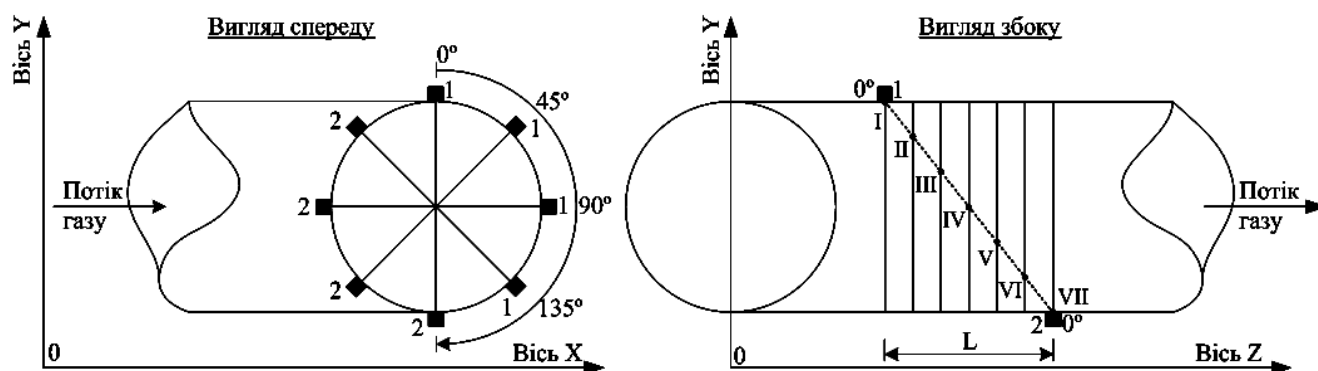


Рис. 3. Схема розміщення ЕАП під час моделювання одноканального УЗПВ: 1, 2 – ЕАП; L – довжина виміррювальної секції УЗПВ; I, II, III, IV, V, VI, VII – номери перерізів для моделювання УЗПВ

Результати моделювання усередненої вздовж акустичного променя швидкості потоку для одноканального УЗПВ

кут	L, м	5D	10D	15D	20D	30D	40D	50D	60D	100D
0	V, м/с	39,8250	39,9315	40,6511	40,6927	41,3407	41,4641	41,7493	42,1341	43,3016
	Δ , м/с	-3,4781	-3,3716	-2,6520	-2,6104	-1,9624	-1,8390	-1,5538	-1,1690	-0,0015
	δ , %	-8,0321	-7,7861	-6,1244	-6,0283	-4,5319	-4,2469	-3,5883	-2,6997	-0,0036
45	V, м/с	41,3463	42,7938	42,0941	43,1684	43,4778	43,0156	43,1493	43,2802	43,2800
	Δ , м/с	-2,0527	-0,6052	-1,3049	-0,2306	0,0788	-0,3834	-0,2497	-0,1188	-0,1190
	δ , %	-4,7298	-1,3945	-3,0067	-0,5313	0,1815	-0,8834	-0,5753	-0,2737	-0,2741
90	V, м/с	40,6172	41,4736	41,8395	41,3210	41,7679	42,0212	42,4927	42,8882	43,1241
	Δ , м/с	-2,6851	-1,8287	-1,4628	-1,9813	-1,5344	-1,2811	-0,8096	-0,4141	-0,1782
	δ , %	-6,2008	-4,2231	-3,3781	-4,5755	-3,5434	-2,9585	-1,8696	-0,9563	-0,4115
135	V, м/с	41,4286	43,5459	42,1621	44,0415	43,7583	43,2479	43,2519	43,2672	43,2895
	Δ , м/с	-1,8736	0,2437	-1,1401	0,7393	0,4560	-0,0542	-0,0503	-0,0349	-0,0127
	δ , %	-4,3268	0,5627	-2,6328	1,7073	1,0532	-0,1253	-0,1161	-0,0808	-0,0293

Відносну похибку вимірюваної швидкості потоку δ обчислено як відношення абсолютної похибки до значення усередненої швидкості стабілізованого потоку

$$\delta = (V - V_{\text{стаб}}) / V_{\text{стаб}} * 100. \quad (2)$$

На практиці монтаж пари ЕАП (1 та 2 на рис. 3) однопроменевого діаметрального УЗПВ може відбуватися під будь-яким кутом до площини встановлення МО “90° коліно”. При цьому слід монтувати пару ЕАП так, щоб акустичний промінь був розміщений у діаметральній площині. В цій статті розглянуто чотири варіанти діаметрального розміщення пари ЕАП, які показано на рис. 3 (кут акустичного каналу відносно осі ОУ дорівнює 0, 45, 90 та 135°).

Для досліджуваної ділянки вимірювального трубопроводу (див. рис. 2) виконано моделювання в програмному комплексі SolidWorks для таких значень параметрів потоку: масова витрата на вході $Q_m = 0,3$ кг/с, статичний тиск на виході $P_{\text{стат}} = 101325$ Па, температура газу $T_{\text{газ}} = 293,2$ К, газ – метан.

Значення усередненої швидкості потоку V , абсолютної Δ та відносної δ похибок вимірювання швидкості потоку, обчислені для вказаних вище параметрів потоку та для чотирьох значень кута акустичного каналу, наведені у таблиці.

Унаслідок роботи сил тертя тиск газового потоку вздовж вимірювального трубопроводу зменшується. Згідно із законом збереження маси інші параметри газового потоку (густина, швидкість) також змінюються вздовж вимірювального трубопроводу. Тому аналіз зміни швидкості потоку у різних перерізах по довжині вимірювального трубопроводу необхідно виконувати із урахуванням зміни швидкості, зумовленої втратами тиску по довжині вимірювального трубопроводу. Для того, щоб оцінити зміну швидкості по довжині вимірювального трубопроводу, ми виконали моделювання турбулентного потоку ($Re = 3,37 \cdot 10^5$), сформованого за умови вказаних вище параметрів у прямолинійній ділянці вимірювального трубопроводу, у якій протікає стабілізований потік із рівномірним розподілом швидкості по перерізу. Моделювання виконане для умов гладкої стінки трубопроводу (Roughness = 0 мкм). Для таких умов зміна швидкості потоку та тиску газу по довжині вимірювального трубопроводу є незначною: зміна тиску 0,029 % на 10D, зміна швидкості – 0,01 % на 10D. Враховуючи, що відносне відхилення швидкості потоку в досліджуваних перерізах має порядок цілих відсотків (див. таблицю), такі малі зміни швидкості внаслідок падіння тиску по довжині вимірювального

трубопроводу істотно не впливають на результати досліджень. Тобто аналіз довжини ділянки стабілізації потоку чи аналіз похибки вимірювання швидкості залежно від кута встановлення акустичного шляху можна виконувати прямим порівнянням швидкості потоку в перерізах вздовж вимірювального трубопроводу.

Аналіз похибки вимірювання швидкості потоку доцільно виконати для розміщення УЗПВ на ділянці вимірювального трубопроводу від 5D до 100D після МО “90° коліно”, оскільки саме на цій ділянці встановлюють переважну більшість витратомірів. Як видно із таблиці та рис. 4, якщо розташувати МО “90° коліно” перед УЗПВ у горизонтальній площині, найменше відхилення вимірюваного значення швидкості потоку d від швидкості неспотвореного потоку досягається на вказаній ділянці вимірювального трубопроводу за умови розміщення акустичного каналу під кутом 45 та 135°.

Для розміщення акустичного каналу під кутом 45° або 135° близькі і результати вимірювання швидкості потоку, і характер зміни відносного відхилення δ за довжиною ділянки. Тому похибка однопроменевих УЗПВ із діаметральними акустичними каналами під кутом 45° або 135° є менш залежною від площини встановлення МО “90° коліно”. Отже, метрологічні характеристики такого УЗПВ, отримані під час його калібрування на витратовимірювальній установці, будуть менше спотворені під час інсталяції після МО “90° коліно”. Тому рекомендується для однопроменевих УЗПВ із діаметральними променями встановлювати акустичні канали під кутом 45° або 135°. Таке розташування дає змогу забезпечити похибку вимірювання швидкості потоку, що не перевищує 1 % для ділянки встановлення УЗПВ від 30D до 100D після МО “90° коліно”.

Із рис. 4 видно, що для повністю стабілізованого потоку результат вимірювання швидкості потоку не залежить від кута встановлення акустичного каналу. Зокрема, для відстані від МО “90° коліно”, більшої за 90D, де потік стабілізований, що підтверджено аналізом профілю швидкості в перерізах на ділянці від 90D до 100D, відхилення між результатами вимірювання за допомогою акустичних каналів розміщених під різними кутами не перевищують 0,5 %.

На рис. 5 подано зміну профілю швидкості (ізо-ліній) по довжині УЗПВ. Множина значень швидкості у кожному перерізі представлена методом градієнтної зміни кольору заповнення. Із рис. 5 видно, що форма

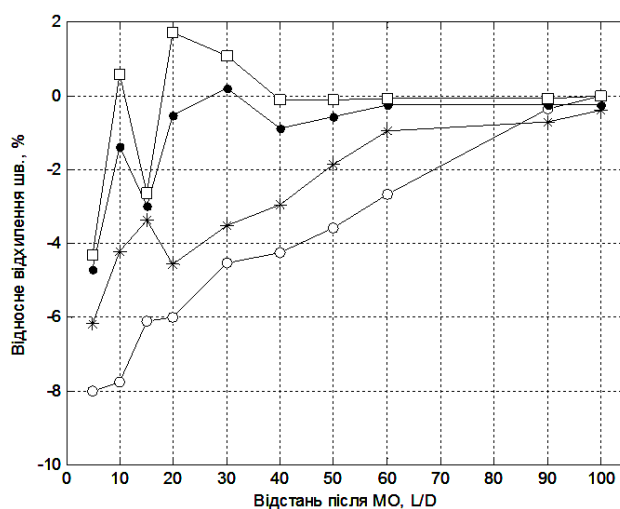


Рис. 4. Залежність відносного відхилення швидкості потоку від кута встановлення та відстані після МО "90° коліно": • – кут 45°, □ – кут 135°, ○ – кут 0°, * – кут 90°

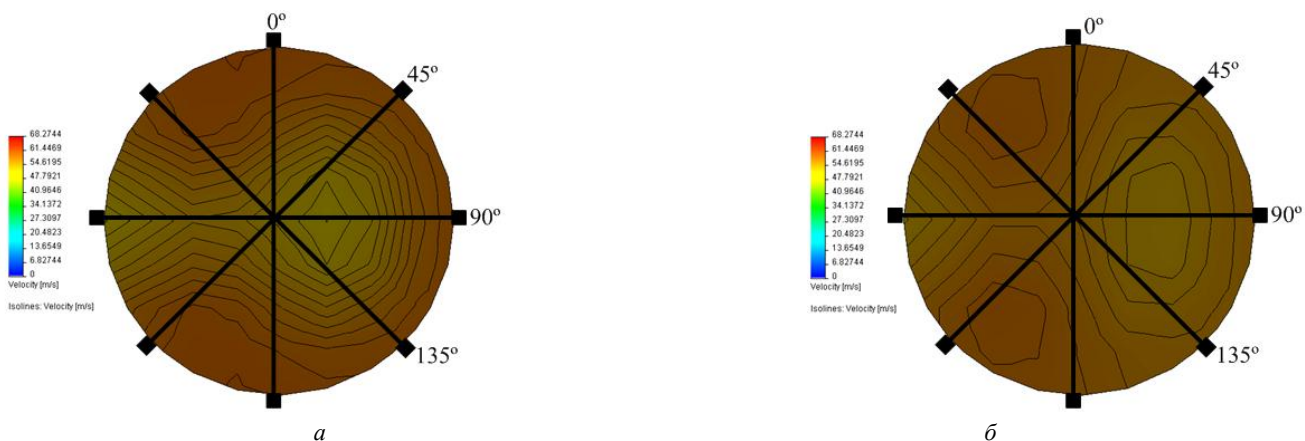


Рис. 5. Зображення структури потоку у входному та вихідному перерізах витратоміра та діаметральних акустичних променів УЗПВ з різним кутом встановлення ЕАП: а – відстань від 90° коліна 0,5 м (5D); б – відстань від 90° коліна 0,68 м (6,8D)

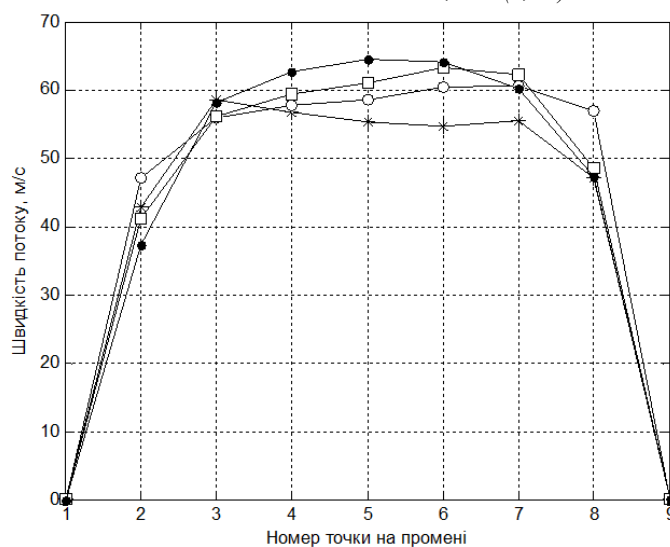


Рис. 6. Вигляд епюри швидкості потоку, коли однопроменеве УЗПВ встановлене на різних відстанях після МО "90° коліно" із кутом встановлення ЕАП, що дорівнює 135°: • 100D; □ 50D; ○ 20D; * 5D

залежить від площини розміщення МО “90° коліно” та відстані від нього до УЗПВ. За умов розглянутої орієнтації МО “90° коліно” ультразвуковий промінь, розміщений під кутом 90°, проходить через область профілю, найбільше спотворену внаслідок зміни швидкості та напрямку потоку під час протікання через МО “90° коліно”. Тобто результати визначення швидкості за цим променем мають найбільші відхилення від швидкості стабілізованого потоку (див. таблицю). Однак після МО іншого типу можуть виникати спотворення профілю в іншому секторі або сегменті перерізу [5]. Тобто в загальному випадку немає гарантії, що один промінь, розташований під будь-яким кутом, врахує спотворення профілю швидкості, а отже, однопроменеві УЗВ не забезпечують надійних та точних вимірювань в умовах спотворень профілю швидкості.

Дослідимо, як змінюється епіюра швидкості вздовж акустичного шляху, встановленого під кутом 135°, залежно від довжини відстані між місцевим опором та УЗПВ. Результати моделювання епіюри швидкості показано на рис. 6.

Як видно із рис. 6, крива епіюри швидкості, позначена символом “•”, має ідеальну форму перетину параболоїда обертання (парабола Пуазейля). Ця епіюра відповідає сформованому (неспотвореному) потоку після МО “90° коліно” на відстані 100D (10 м). За умови встановлення УЗПВ на невеликій відстані після 90° коліна (□ – відстань 50D; ○ – відстань 20D; * – відстань 5D), епіюра швидкості є деформованою і в кожному перерізі змінюється, її вигляд наближається до неспотвореного, коли збільшується відстань від цього МО. Важливо знайти таку відстань, коли за оптимального кута встановлення акустичного каналу (45°, 135°) епіюра потоку вздовж акустичного шляху вимірювального променя буде наближена до неспотвореної епіюри потоку на достатній для цього відстані від МО “90° коліно”. В таких умовах вплив спотворень потоку після МО “90° коліно” на точність вимірювання швидкості потоку є незначним.

Висновки. В результаті проведеної роботи можна виокремити такі результати та рекомендації:

1. Форма спотворення профілю швидкості після МО “90° коліно” істотно залежить від площини розміщення цього місцевого опору, що потребує особливої уваги під час встановлення УЗПВ із одним діаметральним акустичним променем.

2. Похибка однопроменевих діаметральних УЗПВ із розміщенням акустичного каналу під кутом 45° або 135° є менш залежною від площини встановлення МО “90° коліно” (вертикальна чи горизонтальна) порівняно із кутами встановлення 0° та 90°. Отже, метрологічні характеристики такого перетворювача, отримані під

час його калібрування на витратовимірювальній установці, будуть менше спотворені під час інсталяції після МО “90° коліно”.

3. За умови застосування УЗПВ у вимірювальний трубопровід не вводять ніяких конструктивних елементів витратоміра, які б змінювали структуру потоку, тому спотворення структури потоку, спричинені місцевими опорами (зокрема МО “90° коліно”), усуваються на великих відстанях після МО, а отже, однопроменеві УЗВ, встановлені без струменевипрямлячів чи пристроїв підготовки потоку, потребують особливо значних довжин прямолінійних ділянок.

4. Для одноканальних УЗПВ рекомендується встановлювати струменевипрямлячі або пристрої підготовки потоку для зменшення похибки вимірювання швидкості потоку та зменшення необхідних довжин прямолінійних ділянок перед УЗПВ.

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества вещества: справочник: кн. 2 // под общ. ред. Е.А. Щорникова. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004.
2. Роман В.І. Аналіз ультразвукових методів та засобів вимірювання витрати газових потоків // Вісник Інженерної академії України. – К., 2012. – Вип. 3–4. – С. 270–276.
3. Покрас С.И., Покрас А.И., Гришанова И.А. Ультразвуковая расходометрия: как и зачем повышают точность измерений // Сборник трудов 23-й конференции «Коммерческий учет энергоносителей». – 2006. – № 5.
4. Стандарт организации. Расход и количество природного газа. Методика выполнения измерений с помощью ультразвуковых преобразователей расхода // СТО ГАЗПРОМ 5.2-2005, ООО «Информационно-рекламный центр газовой промышленности». – М., 2005.
5. Lunde P. GERG Project on Ultrasonic Gas Flow Meters, Phase II // P. Lunde, K.E. Froyso, M. Vestrheim, 2000.
6. Крук І.С., Болховітін М.І. Сучасні методи вимірювання витрати природного газу // Трубопровідний транспорт: наук.-вироб. журнал: ДК «Укртрансгаз». – К. – № 6 (72). – 2011. – С. 12–15.
7. SolidWorks. Компьютерное моделирование в современной практике // А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов и др. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
8. Filatov V.I. Analysys of an ultrasonic method of measuring the flow rate materials // Measurement Techniques, Vol. 43, No.1, 2000.
9. Kupnik M., Schroder A., O'Leary P., Benes E., and Gruyschl M. An ultrasonic transit-time gas flowmeter for automotive applications // in Proc. IEEE Sens. Conf., 2004, pp. 451–454.
10. ISO 17089-1:2010 Measurement of fluid flow in closed conduits – Ultrasonic meters for gas. Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement.

ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

УДК 535.5; 535.327

ОЦІНКА МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧА

© Володимир Рак, 2013

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
м. Львів, вул. С. Бандери 12

Показано недоліки наявних та запропоновано структурну схему альтернативного волоконно-оптичного високотемпературного термоперетворювача з частотною формою вихідного сигналу. Створена його математична модель, за допомогою якої визначено можливі значення чутливості.

Показаны недостатки существующих и предложена структурная схема альтернативного волоконно-оптического высокотемпературных термопреобразователей с частотной формой выходного сигнала. Создана его математическую модель, с помощью которой определены возможные значения чувствительности.

Showing shortcomings of existing thermometers. Proposed structural scheme of the high-temperature alternative fiber optic thermometer with frequency form of the output signal. Created mathematical model which determine the possible values of sensitivity.

Постановка проблеми у загальному вигляді.

Нині термоперетворювачі виготовляють переважно з металів, які окиснюються при високих температурах, що негативно впливає на їх метрологічні характеристики. Платино-родієві термопари є досить дорогими. Крім того, вихідний сигнал металевих термоперетворювачів має аналогову форму та є малопотужним, що також спричиняє втрату вимірювальної інформації. Тому пошук нових матеріалів, стійких до високих температур та завадостійких методів вимірювання, є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найпоширенішими термоперетворювачами є термоелектричні та терморезистивні. Принцип роботи перших полягає в перетворенні температури у термо-ЕРС на основі ефекту Зеебека. В основу роботи терморезистивних перетворювачів покладено залежність опору провідника від температури.

Сьогодні проведено глибокі теоретичні та експериментальні дослідження принципів роботи та способів використання таких термоперетворювачів. Оптимізовано процентний склад матеріалів та сплавів, з яких виготовляють термоперетворювачі, стандартизовані їх номінальні статичні характеристики (НСХ),

промисловість освоїла випуск таких термоперетворювачів. Вони можуть працювати в діапазоні температур від -200 до 1300 °С, платинові термопари короткочасно можуть вимірювати температуру, що сягає 1800 °С, а вольфрамові 2500 °С, правда, останні характеризуються істотним розкидом НСХ [1].

Напівпровідникові термоперетворювачі мають більшу від металевих чутливість, але їм властиві значний розкид НСХ та менший діапазон вимірювання.

Існує ще пірометричний метод вимірювання температур. Найкращий з вітчизняних – пірометр спектрального відношення “Веселка”. Він відрізняється високою чутливістю і точністю. Основна його похибка становить $0,6$ %. Однак таким пірометром не можна вимірювати температуру, меншу, ніж 750 °С. Діапазон вимірювання його різних модифікацій становить $750 - 2900$ °С [2].

Якщо розглядати контактні термоперетворювачі, то їм притаманна аналогова форма вихідного інформативного параметра. Потужність вихідного сигналу незначна, тому виникає потреба у його ретельному екрануванні для того, щоб захистити від впливу електромагнітних завад. Потім аналоговий сигнал перетворюється та опрацьовується у цифровій формі. Таке перетворення та опрацювання дало

можливість налагодити промислове виготовлення термоперетворювачів з похибкою 0,1 – 0,2 % [2].

Працюючи у важких температурних умовах, високотемпературні металеві термоперетворювачі окиснюються, що негативно позначається на довготривалій стабільності їх НСХ.

Мета наукової роботи. Пошук матеріалів, що не окиснюються за високих температур, не піддаються впливові радіоактивного випромінювання (робота на АЕС), є безпечними з погляду впливу високих напруг, вихідний інформативний параметр яких буде стійким до впливу електромагнітних завад, дасть можливість збільшити термін використання термоперетворювачів, підвищить стабільність їх НСХ та усуне втрати інформації в умовах високого рівня електромагнітних завад.

Створення методів вимірювання з безпосереднім перетворенням вхідної вимірювальної інформації на вихідну, представлену в цифровій (частотній) формі, та з високою потужністю дасть можливість мінімізувати втрати вимірювальної інформації та спростити її подальше опрацювання, спрямоване на лінеаризацію та представлення у формі, зручній для споживача.

Виклад основного матеріалу. Матеріалом, що задовольняє вказані вимоги, є кварц, точніше не сам кварц, а оптичні волокна виготовлені з нього. Їх виготовляють з надчистого, надпрозорого, щирого діоксиду кремнію або плавленого кварцу [3]. Оптичні волокна мають кварцове осердя та кварцову оптичну оболонку, що покриває осердя. В кварц додають домішки, щоб отримати потрібний показник заломлення. Наприклад, германій та фосфор збільшують показник заломлення, а бор та фтор його зменшують. Оптичні волокна є одномодові та багатомодові, ступінчасті та градієнтні.

Діаметр осердя одномодових волокон 5 – 10 мкм, зовнішній діаметр оптичної оболонки стандартизований і дорівнює 125 мкм. Діаметр осердя багатомодових волокон 50, 62,5 та 100 мкм. Діаметр оптичної оболонки для перших двох 125 мкм, для останньої 140 мкм. Волокна мають додаткову захисну оболонку довкола оптичної. Вона являє собою один або декілька шарів полімеру, що захищають осердя та оптичну оболонку від механічних впливів, які можуть завадити поширенню світла. Захисна оболонка не впливає на поширення світла.

У багатомодових оптичних волокнах світло поширюється прямолінійно, відбиваючись від поверхні, що лежить на межі між осердям та оптичним волокном. У градієнтних оптичних волокнах світло поширюється в осерді, плавно змінюючи свій напрям. Це пояснюється поступовим зменшенням коефіцієнта заломлення від осі осердя до оболонки. У ступінчастих світловодах коефіцієнт заломлення осердя та оптичної оболонки змінюється різко, ступінчасто. Різниця між коефіцієнтами заломлення осердя та оболонки становить приблизно 1 % (1,47 для осердя, 1,46 для оболонки) [3].

Оптичні волокна характеризуються:

1. Малими втратами енергії (найкращі зразки 0,2 дБ/км) [4].
2. Малим діаметром та вагою.
3. Механічною міцністю (оптичне волокно витримує удвічі більше навантаження, ніж сталевий дріт такого самого діаметра) [3].
4. Еластичністю (радіус згину 2 мм).
5. Електромагнітною завадостійкістю.
6. Вибухобезпечністю.
7. Електроізоляційною міцністю (волокно завдовжки 20 см витримує напругу 20 кВ).
8. Високою корозійною стійкістю до хімічних розчинників, олив та води.

Високі температури прискорюють процес окиснення металів, що стосується кварцових волокон, то їх важко окиснити сильніше, оскільки кварц є діоксидом кремнію.

Під час радіоактивного опромінення втрати енергії в оптичних волокнах зростають. Домішки фосфору або бору у волокні під дією радіації створюють дефекти у кристалічній ґратці, а ті, своєю чергою, збільшують поглинання енергії при передачі світла. Найкращу радіаційну стійкість мають волокна з осердям з кварцового скла. Втрати, що виникають у такому волокні, плавно зростають зі збільшенням опромінення і при 200 рад сягають 50 дБ/км. Однак на довжині хвилі 1,5 мкм воно дорівнює 1 дБ/км [4].

Порівняно з іншими матеріалами кварц є найстійкішим до впливу температури. У [5] сказано, що температурна стійкість до нагрівання кварцового скла дорівнює 1500 °С, температура розм'якшення 1750 °С, а температура плавлення приблизно 1900 °С [3].

У таблиці подано значення температурних коефіцієнтів лінійного розширення (ТКЛР) кварцу залежно від температури [6].

Залежність ТКЛР кварцу від температури

Темп. К (°C)	$\alpha \cdot 10^{-7}$ К ⁻¹	Темп. К (°C)	$\alpha \cdot 10^{-7}$ К ⁻¹	Темп. К (°C)	$\alpha \cdot 10^{-7}$ К ⁻¹
213 (-60)	2,0	573(300)	5,9	873(600)	5,6
323 (50)	4,0	623(350)	5,8	923(650)	5,5
373(100)	5,0	673(400)	5,8	973(700)	5,4
423(150)	5,5	723(450)	5,8	1023(750)	5,3
473(200)	5,6	773(500)	5,7	1073(800)	5,2
523(250)	5,7	823(550)	5,7		

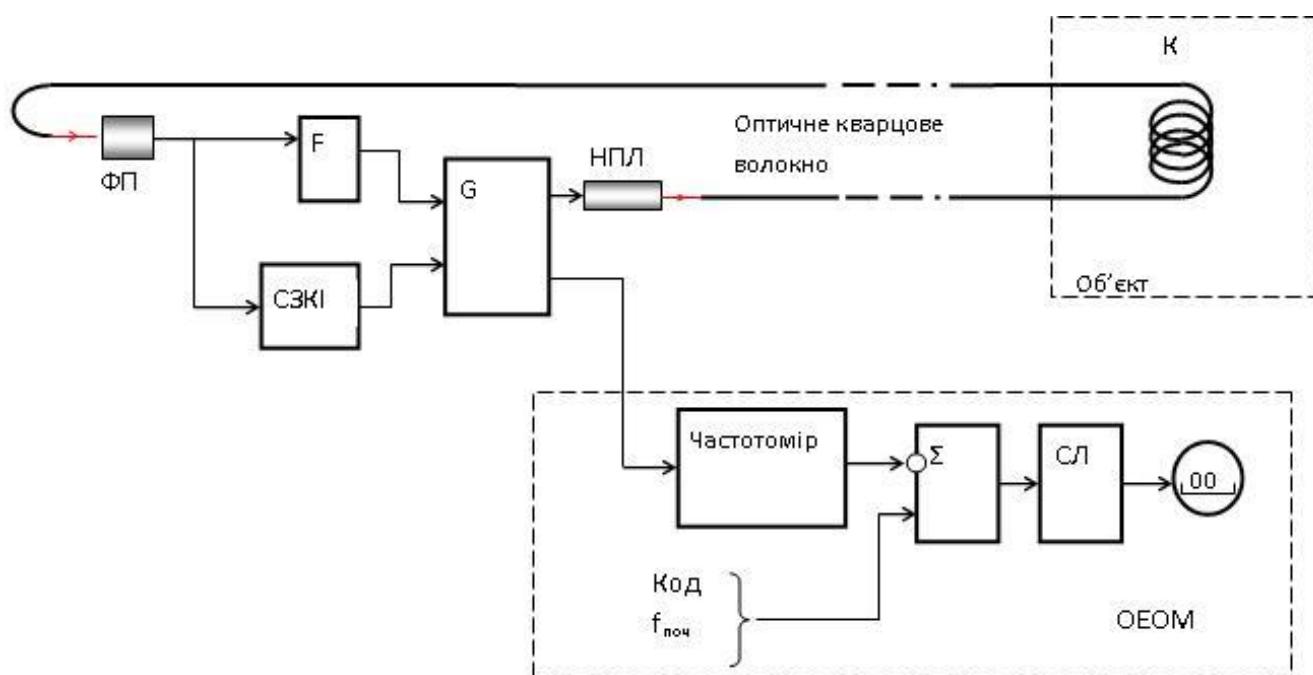


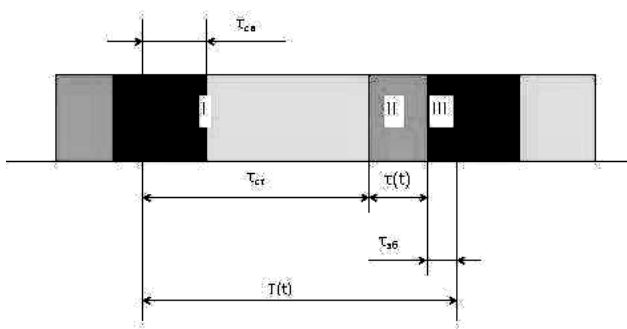
Рис. 1. Структурна схема ЦВТ

Враховуючи оптичні, механічні, температурні властивості кварцових волокон та вимоги до форми вихідного інформативного сигналу, запропоновано функціональну схему цифрового вимірювача температури (ЦВТ), що зображена на рис. 1.

Вона містить генератор короточасних одиничних імпульсів G. Цей генератор упродовж тривалості імпульсу інжектує заряди у р-n-перехід напівпровідникового лазера НПЛ. Лазер генерує імпульс випромінювання, що дорівнює тривалості імпульсу генератора G. Світловий імпульс оптичним кварцовим волокном, намотаним на котушку К, передається до об'єкта дослідження та повертається назад. Фотоприймач ФП перетворює світловий імпульс на імпульс напруги, що подається на формувач напруги F. Сформований за певними вимогами імпульс подається на вхід генератора G для запуску наступного імпульсу.

Так відбувається циркуляція світлових імпульсів та імпульсів напруги у вимірювальному колі. Для запуску схеми та контролю за наявністю імпульсів встановлено схему запуску та контролю імпульсів (СЗКІ). Вимірювальні імпульси з частотою, що залежить від температури об'єкта дослідження $f(t)$, подають на вхід частотоміра. Цифрове значення частоти подається на вхід різницевої схеми. На інший вхід цієї схеми подано код початкової частоти $f_{\text{поч}}$. Різницева схема знаходить різницю $\Delta f = f_{\text{поч}} - f(t)$. У схемі лінеаризації СЛ відбувається лінеаризація та перетворення значення цієї різниці на значення температури, відображене схемою індикації ІО.

Розглянемо детальніше період повторення $T(t)$ частоти $f(t)$. Тривалість цього імпульсу складається з трьох частин, зображених на рис. 2.

Рис. 2. Структура періоду частоти $f(t)$

Перша частина на рис. 2 позначена як $\tau_{ст}$. Це сталий час, за який світловий імпульс від лазера пробігає до об'єкта і повертається назад до фотоприймача ФП.

Друга частина на рис. 2 позначена як $\tau(t)$. Це змінна частина періоду, значення якої визначається видовженням оптичного волокна та зміною коефіцієнта заломлення кварцового волокна у разі зростання температури.

Третя частина – це часова затримка $\tau_{зб}$ між збудженням наступного світлового імпульсу від світлового імпульсу, що повернувся оптичним волокном. $\tau_{зб}$ – це сумарний часовий інтервал відгуку таких елементів вимірювального кола, як фотоприймач ФП, формувач імпульсів F, генератор G та напівпровідниковий лазер.

Як $\tau_{св}$ на рисунку позначено тривалість світлових імпульсів.

Фотоприймач є лавинним кремнієвим фотодіодом з ємністю переходу 1,5 пФ, що дає йому змогу реалізувати частотний діапазон до 10 ГГц. За таких частот можна сподіватися, що час відгуку на вхідний світловий імпульс дорівнюватиме 0,1 нс. Враховуючи непередбачувані обставини, збільшимо цей час втричі до 0,3 нс.

Як формувач імпульсів використано логічний елемент цифрових мікросхем 1530 серії або аналогічні американські (SN54AS00FN, SN54AS00FK). Затримка одного такого логічного елемента становить 1 нс.

Модуляція випромінювання напівпровідникового лазера здійснюється імпульсною модуляцією струму інжекції на частотах, що сягають декількох ГГц. Отже, час відгуку напівпровідникового лазера щонайбільше повинен бути 0,5 нс (частота модуляції 2 ГГц). Найдоступніші напівпровідникові лазери з потужністю 1 мВт.

Отже, принципова схема, що об'єднує фотоприймач ФП, формувач імпульсів F, генератор одиничних імпульсів G та напівпровідниковий лазер НПЛ, матиме вигляд, як на рис. 3.

Підсумувавши часи відгуку кожного елемента цієї схеми, одержимо її загальну затримку (0,3 нс, 1 нс, 1 нс, 0,5 нс), що дорівнює 2,8 нс, додамо ще 1,2 нс на непередбачувані обставини (ємність доріжок друкованої плати) і загалом отримаємо $\tau_{зб}=4$ нс.

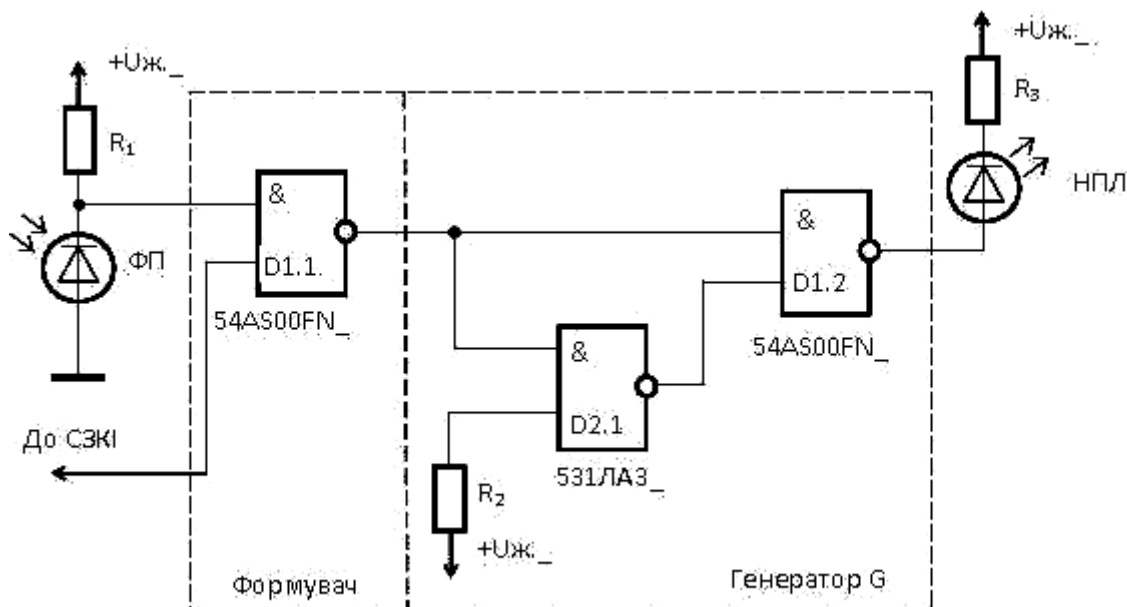


Рис. 3. Формувач та генератор одиничних імпульсів

Оцінимо значення сталої частини періоду повторення імпульсів $\tau_{ст}$. ТКЛР кварцу в діапазоні від -60°C до $+50^\circ\text{C}$ має значення від $2 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ до $4 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$. Прийнемо, що він дорівнює $3 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$. Нехай загальна довжина оптичного волокна, що передає світлові імпульси до котушки, дорівнює 1,6 м. Довжина оптичного волокна, намотаного на котушку 0,4 м, разом 2 м.

Визначимо, скільки часу потрібно світловому імпульсу, щоб пробігти цю відстань. Коефіцієнт заломлення n вказує, у скільки разів швидкість світла у вакуумі більша від швидкості у середовищі

$$n = \frac{c}{V_c}, \quad (1)$$

де c – швидкість світла у вакуумі; V_c – швидкість світла у середовищі; n – коефіцієнт заломлення осердя кварцового волокна дорівнює $n=1,47$.

Виконавши відповідні перетворення та підставивши числові значення, з (1) визначимо, що швидкість світла в осерді кварцового волокна за температури 20°C $V_c(20^\circ\text{C}) = 2,04 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

Тепер визначимо $\tau_{ст}$. Для цього загальну довжину оптичного волокна розділимо на швидкість його поширення.

$$t_{cm} = \frac{l_1 + l_2}{V_c(20^\circ\text{C})}, \quad (2)$$

де l_1 – довжина оптичного волокна $l_1=1,6$ м; l_2 – довжина оптичного волокна, намотаного на котушку $l_2=0,4$ м.

Підставивши числові значення у (2), отримаємо $t_{cm} = 9,8 \cdot 10^{-9} \text{ с}$, або 9,8 нс.

Оцінимо, якою буде початкова частота $f_{поч}$ циркуляції імпульсів. Для цього до $\tau_{ст}$ додамо $\tau_{зб}$

$$f_{поч} = \frac{1}{t_{cm} + t_{зб}}, \quad (3)$$

де $f_{поч} = 7,246377 \cdot 10^7 \text{ Гц}$, або 72,463770 мГц.

Значення цієї частоти подано у вигляді коду на один з входів суматора (рис. 1).

Оцінимо, як зміниться частота циркуляції імпульсів, коли температура зростає до 100°C .

На зміну часу $\tau(t)$ впливають два чинники. Перший – це температурне видовження оптичного волокна $\Delta l(t)$. Його можна визначити

$$\Delta l(t) = \alpha \cdot \Delta t \cdot l_2, \quad (4)$$

де α – температурний коефіцієнт лінійного розширення кварцу; Δt – зміна температури, $^\circ\text{C}$.

Другим чинником є зміна коефіцієнта заломлення кварцового оптичного волокна, на який опосередковано діє та сама температура.

$$\Delta n(t) = \frac{dn}{dt} \cdot \Delta t + \Delta n_{pr}(t), \quad (5)$$

де $\frac{dn}{dt}$ – температурний коефіцієнт зміни коефіцієнта

заломлення кварцу [4], $\frac{dn}{dt} = 0,68 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; $\Delta n_{pr}(t)$ –

зміна коефіцієнта заломлення внаслідок фотопружності.

Цю зміну можна визначити, використавши коефіцієнти Покейса p_{ij} [4]

$$\Delta n_{pr}(t) = \frac{n^3}{2} \cdot [p_{11} \cdot e_1(t) + p_{12} \cdot e_2(t) + e(t)], \quad (6)$$

де $e(t)$ – відносна деформація, спричинена температу-

рою $e(t) = \frac{\Delta l(t)}{l_2} = \alpha \cdot \Delta t$; p_{11} , p_{12} – коефіцієнти

Покейса, $p_{11}=0,121$, $p_{12}=0,270$; $e_1(t)$, $e_2(t)$ – відносна деформація у поперечному напрямку

$$e_1(t) = e_2(t) = e(t) \cdot n, \quad (7)$$

де ν – коефіцієнт Пуансона, $\nu=0,164$.

Підставивши (6) у (5), знайдемо значення $\Delta n(t)$, якщо температура змінюється від 50°C до 100°C (рис. 4).

Коефіцієнт заломлення можна розглядати як суму

$$n(t) = n + \Delta n(t). \quad (8)$$

Враховуючи (1), визначимо змінну частину періоду $\tau(t)$, яка є функцією видовження оптичного волокна та коефіцієнта заломлення у разі зростання температури.

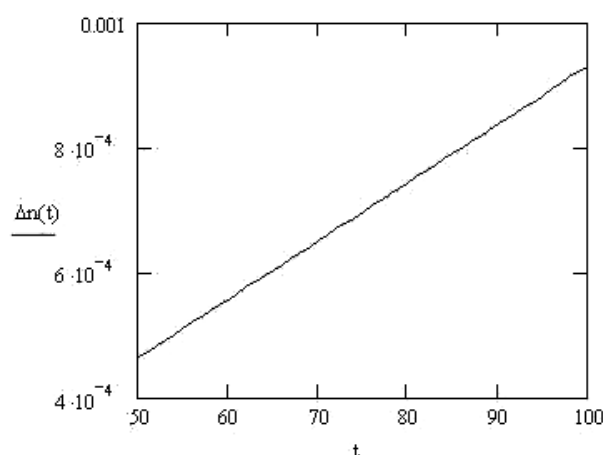


Рис. 4. Зміна коефіцієнта заломлення кварцового оптичного волокна

$$t(t) = \frac{\Delta l(t)}{V_c} = \frac{\Delta l(t) \cdot n(t)}{c} = \frac{\Delta l(t) \cdot [n + n(t)]}{c}. \quad (8)$$

На рис. 4 видно, що значення $\Delta n(t)$ не перевищує 0,001, тоді як $n=1,47$, тому з (8) можна зробити висновок, що основним чинником, який визначатиме $\tau(t)$, є добуток $\Delta l(t) \cdot n$.

Отже, можна вважати, що

$$t(t) \approx \frac{\Delta l(t) \cdot n}{c}. \quad (9)$$

Оцінимо зміну частоти, спричинену збільшенням довжини волокна у разі зростання температури. Для цього у знаменник (3) підставимо ще $\tau(t)$

$$f(t) = \frac{1}{t_{cm} + t_{зб} + t(t)}, \quad (10)$$

У разі зростання температури від 50 °С до 100 °С зміна частоти $\Delta f = -231,7$ Гц.

Чутливість термоперетворювача S дорівнюватиме

$$S = \frac{\Delta f}{\Delta T}, \quad (11)$$

де $S = 4,6 \frac{\text{Гц}}{^\circ\text{C}}$.

Від 100 °С ТКЛР кварцу (див. таблицю) дорівнює або є більшим від $5 \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$. Якщо ж 300 °С, його значення максимальне і сягає $5,9 \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$. За поданими ви-

ше формулами оцінено чутливість термоперетворювача за максимального ТКЛР. Вона дорівнює $-6,1 \frac{\text{Гц}}{\text{К}}$.

Висновки. Вплив температури на зміну коефіцієнта заломлення оптичного волокна нехтовно малий, тому основним чинником, що визначає зміну частоти перетворювача як функції температури, є ТКЛР кварцу.

За невисоких значень ТКЛР кварцу і відповідно невеликих видовжень оптичного волокна перехід до високих частот дає змогу виділити ці видовження, спричинені температурою, і відчуті їх з чутливістю, що приблизно становить -5 Гц/К.

Кварц є діоксидом кремнію, тому його використання у чутливому елементі термоперетворювача усуне вплив окиснення за високих температур і сприятиме довготривалій стабільності НСХ.

1. Луцук Я. Т., Буняк Л. К., Рудавський Ю. К., Стадник Б. І. *Енциклопедія термометрії*. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2003. – 428 с. 2. *Метрологія та вимірювальна техніка: підручник / за ред. проф. Є. С. Поліщука*. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 544 с. 3. Гуртов В.А. *Оптоэлектроника и волоконная оптика: учеб. пособие*. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2005. – 100 с. 4. *Волоконно-оптические датчики / под ред. Т. Окоси; пер. с япон.* – Ленинград: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с. 5. Гофман Ю. В. *Законы, формулы, задачи физики: Справочник*. – К.: Наукова думка, 1977. – 576 с.

УДК 537.311.322

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОМЕТРИЧНОГО МАТЕРІАЛУ $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$

© Крайовський Володимир, Ромака Володимир, 2013

Національний університет "Львівська політехніка"
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна, ukrayovskyy@lp.edu.ua

Досліджено енергетичні, магнітні та електрокінетичні характеристики термометричного матеріалу $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$ у діапазонах: $T = 80 \div 400$ К, $N_A^{Rh} \approx 9,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ($x = 0,005$) $\div 1,9 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ ($x = 0,10$) і напруженості магнітного поля $H \leq 10$ кГс. Показано, що одержаний термоелектричний матеріал має високу ефективність перетворення теплової енергії на електричну.

Исследованы энергетические, магнитные и электрокинетические характеристики термометрического материала $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$ в диапазонах: $T = 80 \div 400$ К, $N_A^{Rh} \approx 9,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ($x = 0,005$) $\div 1,9 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ ($x = 0,10$) и напряженности магнитного поля $H \leq 10$ кГс. Показано, что полученный термоэлектрический материал имеет высокую эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую.

The electron energy state, magnetic and transport characteristics of thermometric materials $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$ were investigated in the $T = 80 \div 400$ K temperature range and at charge carriers concentration from $N_A^{Rh} \approx 9,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ($x = 0,005$) $\div 1,9 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ ($x = 0,10$) and $H \leq 10$ kGs. It was shown that the obtained thermoelectric material has high efficiency conversion of thermal energy into electrical energy.

Вступ. У роботі [1] показано, що інтерметалічний напівпровідник $n\text{-HfNiSn}$ є одним з перспективних термометричних матеріалів для реалізації на його основі первинних перетворювачів електрорезистивних та термоелектричних термометрів у діапазоні $4,2 \div 1500$ К. Оптимізація параметрів термометричних матеріалів здійснюється сильним легуванням напівпровідника. У цій роботі ми продовжимо розпочату в [2] програму досліджень механізмів провідності термометричних матеріалів на основі $n\text{-HfNiSn}$ для різних способів легування і типів уведених домішок. Важливість таких досліджень пояснюється тим, що матеріали на основі $n\text{-HfNiSn}$ мають стабільні характеристики в температурному інтервалі $T = 4,2 \div 1500$ К. Нижче, на основі проведених досліджень, покажемо, що легування інтерметалічного напівпровідника $n\text{-HfNiSn}$ домішковими атомами Rh дає змогу отримати перспективний термометричний матеріал, а первинні перетворювачі температури, реалізовані на його основі, володітимуть високою чутливістю та відтворюваністю характеристик.

У роботі [2] запропоновано підхід до дослідження $n\text{-HfNiSn}$, який по-іншому, ніж у [3], трактує механізми дефектоутворення і, як наслідок, механізми електропровідності напівпровідника у широкому температурному інтервалі. Встановлено механізм утворення донорів у $n\text{-HfNiSn}$ («априорне легування» [1]) як

результат структурної неупорядкованості сполуки HfNiSn . Суть неупорядкованості HfNiSn полягає у частковому, до ~ 2 ат. %, зайнятті атомами Ni ($3d^8 4s^2$) кристалографічної позиції 4a атомів Hf ($5d^2 6s^2$), що і є джерелом структурних дефектів донорної природи. Окрім того, в [2] також показано, що сильне легування $n\text{-HfNiSn}$ атомами Co, уведеними у кристал шляхом заміщення атомів Ni, запускає механізм генерування структурних дефектів акцепторної природи, змінюючи при цьому ступінь компенсації напівпровідникового матеріалу. Зокрема, введення атомів Co у структуру сполуки HfNiSn упорядковує її кристалічну структуру. А це означає, що атоми Ni повертаються з «чужої» позиції 4a у «власну» 4c. Розрахунки показали, що при складах $\text{HfNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{Sn}$, $x \approx 0,02$ всі атоми Ni покинуть частково зайняту ними позицію атомів Hf. Отже, введення в $n\text{-HfNiSn}$ домішки Co в діапазоні концентрацій $x = 0 \div 0,02$ призводить до зменшення та ліквідації у напівпровідниковому матеріалі структурних дефектів донорної природи.

Нижче представимо результати дослідження нового термометричного матеріалу $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, одержаного унаслідок сильного легування $n\text{-HfNiSn}$ атомами Rh, уведеними в кристал шляхом заміщення атомів Ni. Досліджено електронну структуру матеріалу

$\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, його енергетичні, електрокінетичні та магнітні характеристики. Ці результати дають змогу передбачити механізми провідності термометричного матеріалу та характеристики первинних термоперетворювачів, реалізованих на його основі. Окрім того, експериментальні дослідження електрокінетичних та магнітних характеристик $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$ дозволять встановити, з одного боку, адекватність отриманої моделі електронної структури напівпровідника, а з іншого – адекватність прогнозованих характеристик первинних перетворювачів температури.

1. Розрахунок електронної структури $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$. Для прогнозування поведінки рівня Фермі (e_F), ширини забороненої зони (e_g), електрокінетичних та магнітних характеристик термометричного матеріалу $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$ здійснено розрахунок розподілу електронної густини (DOS) (рис. 1). Однак, перш ніж перейти до аналізу результатів розрахунку електронної структури $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, необхідно зазначити таке. Структурні дослідження зразків $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, $x = 0,005 \div 0,10$, зокрема уточнення їх кристалічної структури методом порошку з одночасним уточненням ізотропних параметрів атомного заміщення та зайнятості кристалографічних позицій, показало, що найменші значення коефіцієнта невідповідності R_{Br} моделі структури та масиву відбить рентгенівського випромінювання отримано для варіанта упорядкованої кристалічної структури. Суть упорядкування, як і у випадку $\text{HfNi}_{1-x}\text{Co}_x\text{Sn}$ [2], полягає у поверненні атомів Ni з частково зайнятої (до ~2 ат.%) позиції Hf (4a) у «власну» позицію 4c з одночасним витісненням домішковими атомами Rh атомів Ni з позиції 4c. Розрахунки

показали, що при складах $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, $x \geq 0,02$, всі атоми Ni покинуть позицію атома Ni. А це означає, що введення у структуру сполуки HfNiSn домішкових атомів Rh супроводжується одночасним зменшенням та ліквідацією структурних дефектів донорної природи (до $x \approx 0,02$) та збільшенням кількості структурних дефектів акцепторної природи ($0 < x \leq 0,10$). Оскільки домішка Rh впорядковує кристалічну структуру термометричного матеріалу, усі розрахунки його електронної структури проведено для випадку упорядкованої кристалічної структури $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$.

Заміщення атомів Ni на Rh у сполуці HfNiSn принципово не змінює спостережуваної форми розподілу електронної густини відповідно до сильної гібридизації між усіма елементами (рис. 1, а). Збільшуються «хвости» зон неперервних енергій, що приводить до зменшення значень ефективної забороненої зони $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$ ($e_g(x = 0,005) = 505,8$ меВ та $e_g(x = 0,10) = 463,1$ меВ). Розрахунки показують, що легування напівпровідника електронного типу провідності $n\text{-HfNiSn}$ акцепторною домішкою Rh супроводжується дрейфом рівня Фермі e_F у напрямі валентної зони (рис. 1, а). Якщо незначні концентрації легуючої домішки атомів Rh, зростає ступінь компенсації напівпровідникового матеріалу. Якщо концентрації атомів Rh відповідають складам $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, $x \approx 0,02$, рівень Фермі перетне середину забороненої зони, зміниться тип провідності матеріалу, а дірки стануть головними носіями електрики. Розрахунки показують, що при складах $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, $x > 0,10$, рівень Фермі перетне рівень проходження валентної зони – реалізується перехід провідності діелектрик-метал [3].

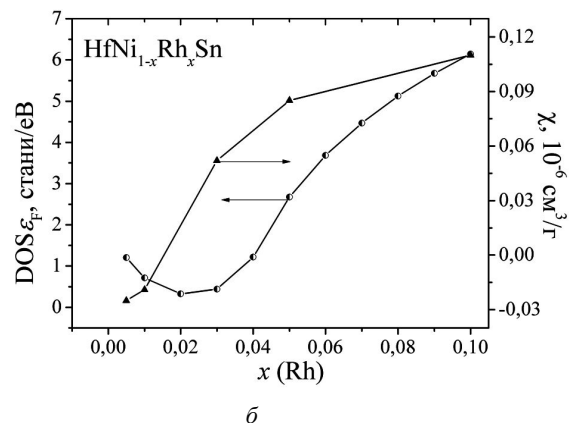
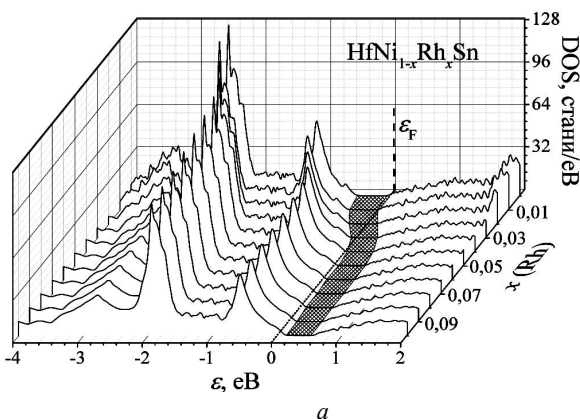


Рис. 1. Зміна значень профілю країв зон (а) та густини станів на рівні Фермі $\text{DOS}_{\varepsilon_F}$ і значень магнітної сприйнятливості χ при $T=300$ К (б) $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$

Звернемо увагу на характер зміни розрахованої густини станів на рівні Фермі $DOSe_F$ $HfNi_{1-x}Rh_xSn$ (рис. 2, б), зокрема, на наявність мінімуму при $x \approx 0,02$. З фізичного погляду абсолютно зрозуміла наявність мінімуму густини станів на рівні Фермі, коли він проходить середину забороненої зони напівпровідника (якщо $x \approx 0,02$). З іншого боку, структурні дослідження показали, що в $HfNi_{1-x}Rh_xSn$, $x \approx 0,02$, будуть «заліковані» всі структурні дефекти донорної природи, які існують у первісній сполуці $HfNiSn$, а у кристалі генеруватимуться лише структурні дефекти донорної природи. Саме цей фізичний процес зумовлює як зменшення розрахованих значень густини станів на рівні Фермі $DOSe_F$ в $HfNi_{1-x}Rh_xSn$, $x < 0,02$, де електрони є основними носіями струму, так і збільшення значень $DOSe_F$ при $x \geq 0,02$, коли основними носіями електрики будуть дірки. Експериментальні дослідження $HfNi_{1-x}Rh_xSn$ мають дати відповідь щодо ступеня адекватності наведених вище результатів.

2. Дослідження магнітних характеристик $HfNi_{1-x}Rh_xSn$. Експериментальні дослідження польових та температурних залежностей магнітної сприйнятливості s $HfNi_{1-x}Rh_xSn$ дали змогу одержати результати, які укладаються у запропоновану модель електронної структури термометричного матеріалу. На рис. 2, б наведено результати експериментальних вимірювань значень $s(x)$ при $T=300$ К і напруженості магнітного поля $H=10$ кГс. Оскільки інтерметалічний напівпровідник n - $HfNiSn$ є слабким діамagnetиком ($s_{x=0} = -0,082 \cdot 10^{-6}$ см³/г) [1], то легування напівпровідника найменшими концентраціями домішки Rh призводить до зменшення діамagnetної складової

($s_{x=0,005} = -0,025 \cdot 10^{-6}$ см³/г). З рис. 2, б видно, що концентраціям акцепторної домішки, за яких рівень Фермі переходить через середину забороненої зони $HfNi_{1-x}Rh_xSn$, відповідають «нульові» значення магнітної сприйнятливості матеріалу, вказуючи на зміну його магнітного стану. При складах $HfNi_{1-x}Rh_xSn$, $x \geq 0,03$, матеріал стає парамагнетиком Паулі: $s_{x=0,03} = 0,052 \cdot 10^{-6}$ см³/г. У такому випадку магнітна сприйнятливості $HfNi_{1-x}Rh_xSn$ визначатиметься магнітною сприйнятливостю основних носіїв струму, а її значення буде пропорційним до концентрації вільних дірок p (для парамагнетика Паулі $s \sim p$). Оскільки значення $s(x)$ збільшуються зі зростанням концентрації атомів Rh у кристалі матеріалу (рис. 2, б), засвідчуючи збільшення концентрації дірок, то саме такий хід залежності $s(x)$ є можливим лише за умови акцепторної природи утворених структурних дефектів при зайнятті атомами Rh позиції Ni. Цей висновок відповідає результатам структурних досліджень та розрахунку електронної структури термометричного матеріалу $HfNi_{1-x}Rh_xSn$.

3. Дослідження електрокінетичних характеристик $HfNi_{1-x}Rh_xSn$. На рис. 2 та 3 наведено зміну значень питомого електроопору r і коефіцієнта термо-ЕРС α термометричного матеріалу $HfNi_{1-x}Rh_xSn$ від температури та складу, відповідно. Для випадку n - $HfNiSn$ температурні залежності питомого електроопору та коефіцієнта термо-ЕРС типові для сильнолегованих та компенсованих напівпровідників (СЛКН) [4] з високо- та низькотемпературними активаційними ділянками, які вказують на наявність кількох активаційних механізмів провідності.

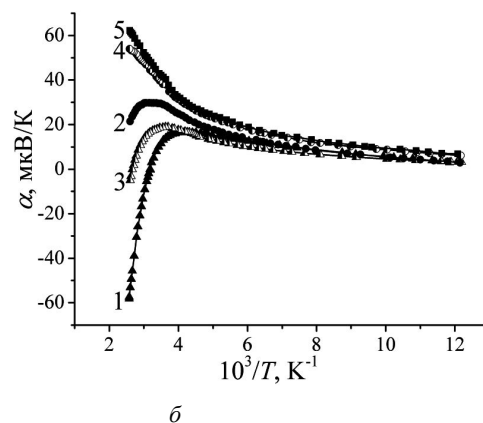
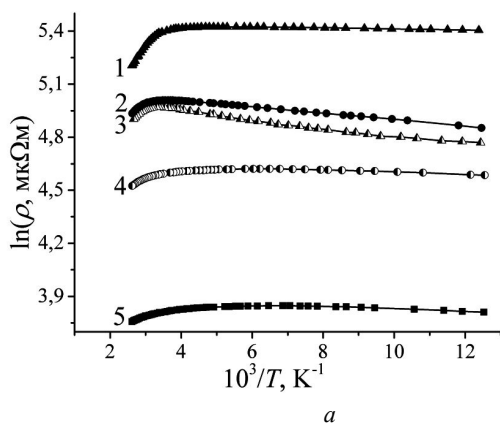


Рис. 2. Температурні залежності питомого електроопору r (а) та коефіцієнта термо-ЕРС α (б) $HfNi_{1-x}Rh_xSn$: 1- $x=0,005$; 2- $x=0,01$; 3- $x=0,02$; 4- $x=0,03$; 5- $x=0,10$

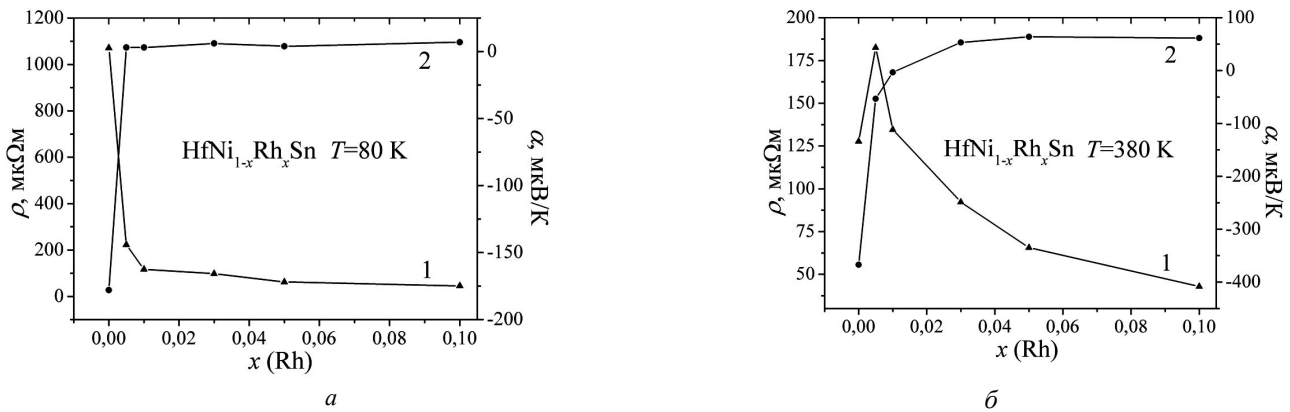


Рис. 3. Зміна значень питомого електроопору ρ (1) та коефіцієнта термо-ЕПС α (2) $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$ за різних температур: а – $T=80\text{ K}$, б – $T=380\text{ K}$

З активаційних ділянок залежностей $\ln r(1/T)$ обчислено значення енергій активації з рівня Фермі e_F на рівень протікання зони провідності e_1^r та стрибки електронів e_3^r по станах з енергіями, близькими до e_F , а з активаційних ділянок залежностей $\alpha(1/T)$ – значення енергій e_1^a та e_3^a , пропорційних до амплітуди модуляції зон неперервних енергій та дрібномасштабної флуктуації СЛКН, відповідно [4]. Так, у нелегованому напівпровіднику $n\text{-HfNiSn}$ рівень Фермі e_F розташований у забороненій зоні на відстані 81,3 меВ від рівня протікання зони провідності [1]. Наявність низькотемпературної активаційної ділянки на залежності $\ln r(1/T)$ $n\text{-HfNiSn}$ вказує на існування стрибкового механізму перенесення заряду з енергією активації $e_3^r = 8,7$ меВ. Доказом активації електронів з домішкового донорного рівня у зону провідності слугують від'ємні значення коефіцієнта термо-ЕПС $n\text{-HfNiSn}$ у всьому температурному діапазоні вимірювань (рис. 2, б, 3, б).

З високо- та низькотемпературних ділянок залежностей $\alpha(1/T)$ обчислено значення енергії активації e_1^a ($x=0$) = 50,9 меВ та e_3^a ($x=0$) = 9,4 меВ, відповідно. У цьому контексті показовим є співвідношення значень енергії активації e_3^r та e_3^a , яке вказує, що потенціальна яма дрібномасштабної флуктуації СЛКП $n\text{-HfNiSn}$ близька до стану заповнення носіями струму (усереднена глибина ями 9,4 меВ, вона заповнена на 8,7 меВ). В [5] показано, що як тільки значення енергії активації стрибкової провідності e_3^r зрівняється зі значенням e_3^a , електрони «заллють»

дрібномасштабний рельєф СЛКН [4], що приведе до металізації провідності, а на залежностях $\ln r(1/T)$ буде відсутня низькотемпературна активаційна ділянка.

Уведення найменшої в експерименті концентрації акцепторної домішки Rh, що відповідає складу $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, $x=0,005$, приводить до радикальних змін як характеру поведінки залежностей $\ln r(1/T)$ та $\alpha(1/T)$ (рис. 1), так і значень питомого електроопору та коефіцієнта термо-ЕПС (рис. 2). Так, на залежності $\ln r(1/T)$ немає низькотемпературної активаційної ділянки, а електроопір зразка зростає зі збільшенням температури, вказуючи на металізацію провідності термометричного матеріалу за низьких температур. Подібний хід залежностей $\ln r(1/T)$ для усіх інших концентрацій акцепторної домішки (рис. 1). Ми вважаємо, що додатні значення коефіцієнта термо-ЕПС та металізація провідності $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$ за низьких температур вказують, що концентрація акцепторів у $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$ стала значною і не лише змінився тип провідності (дірки стали основними носіями струму), а й суттєво зменшився ступінь компенсації напівпровідникового матеріалу і весь дрібномасштабний рельєф залитий дірками [4].

Водночас, існування високотемпературної активації на залежностях $\ln r(1/T)$ $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, а також від'ємні значення коефіцієнта термо-ЕПС α для складів $x=0,005$ та $x=0,01$ при температурах $T>314\text{ K}$ та $T>371\text{ K}$, відповідно, вказує на те, що в обох зразках концентрація донорів («априорне легування») все ще переважає концентрацію уведених акцепторів. Спостережувана зміна знака коефіцієнта термо-ЕПС у зразках $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, $x=0,005$ та $x=0,01$, при зміні

температури є класичним прикладом залежності ступеня компенсації напівпровідникового матеріалу не лише від концентрації донорів та акцепторів, а і від глибини їх залягання від країв зон неперервних енергій, тобто від температури. Інакше кажучи, у досліджуваних зразках $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, $x=0,005$ та $x=0,01$, за різних температур концентрація іонізованих акцепторів і донорів буде різною.

Обґрунтуємо цей висновок. У зразках $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, $x=0,005$ та $x=0,01$, термічний закид електронів з домішкового донорного рівня (іонізація донора) на рівень протікання зони провідності є енергетично утрудненим, а значить, і концентрація іонізованих донорів менша, порівняно із закидом дірок з домішкового акцепторного рівня (іонізація акцептора) на рівень протікання валентної зони. Це пов'язано з тим, що глибина залягання донорного рівня в $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, $x=0,005$ та $x=0,01$ сумірна з енергією активації $e_1^r = 81,3$ *n*- HfNiSn меВ, а енергія іонізації дірок з рівня Фермі (рис. 4), зафіксованого на домішковому акцепторному рівні, на рівень протікання валентної зони сумірна зі значеннями e_1^r ($x=0,005$) = 25,3 меВ та e_1^r ($x=0,01$) = 14,6 меВ, відповідно. В обох випадках, при активації як електронів у зону провідності, так і дірок у валентну зону ми говоримо «сумірна», оскільки розрахунки показують також зменшення значень ефективної забороненої зони $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, викликане збільшенням «хвостів зон», що незначно змінить і розташування домішкових рівнів відносно рівнів протікання зон неперервних енергій.

У зв'язку з цим показовими є залежності зміни значень питомого електроопору $r(x)$ при $T=80$ К та $T=380$ К (рис. 3). Так, якщо $T=80$ К, коли відсутня активація носіїв струму з рівня на рівні протікання зон неперервних енергій, провідність термометричного матеріалу визначається або стрибковим механізмом (для *n*- HfNiSn), або металічною провідністю, коли дрібномасштабний рельєф залитий дірками (для $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$). У цьому випадку зменшуються значення питомого електроопору від значень $r(x=0) = 1071,09$ мкОм·м до $r(x=0,005) = 222,44$ мкОм·м та $r(x=0,01) = 116,49$ мкОм·м. Водночас при $T=380$ К, коли фактором, що визначає провідність напівпровідникового матеріалу, є зміна концентрації саме вільних носіїв струму через термічний закид електронів та дірок з відповідних домішкових рівнів, залежність

$r(x)$ істотно відрізняється від такої при $T=80$ К. Так, значення питомого електроопору при легуванні напівпровідника найменшою концентрацією домішки збільшується від значень $r(x=0) = 127,68$ мкОм·м до $r(x=0,005) = 182,47$ мкОм·м. І лише коли концентрації домішки відповідають складу $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$, $x=0,01$, значення $r(x)$ починають зменшуватися ($r(x=0,01) = 134,63$ мкОм·м).

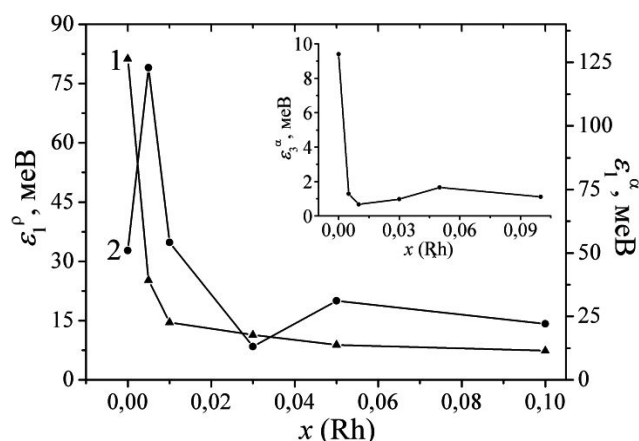


Рис. 4. Зміна значень енергій активації $e_1^r(x)$ (1), $e_1^a(x)$ (2) та $e_3^a(x)$ (вставка) $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$

Покажемо, а на перший погляд і парадоксальним, є те, що значення питомого електроопору для зразка з $x=0,01$ при $T=80$ К (116,49 мкОм·м) є меншим, ніж при $T=380$ К (134,63 мкОм·м), коли абсолютна кількість вільних носіїв струму набагато перевищує таке при $T=80$. Цей експериментальний факт зайвий раз показує різний ступінь компенсації напівпровідникового матеріалу $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$ за різних температур.

Аналізуючи хід залежностей $r(x)$ (рис. 3, б), ми виявили, що екстремум на залежності при $x=0,005$ з'являється вже при $T \geq 250$ К, коли відбувається іонізація донорів, що збільшує ступінь компенсації напівпровідникового матеріалу. А якщо так, то повинна зростати й амплітуда модуляції зон неперервних енергій. Саме про це свідчить хід залежності $e_1^a(x)$ (рис. 4). Оскільки значення енергії активації e_1^a пропорційне до амплітуди модуляції зон неперервних енергій [4], то легування *n*- HfNiSn найменшою концентрацією акцепторної домішки Rh супроводжується збільшенням значень амплітуди модуляції

від $e_1^a(x=0)=50,9$ меВ до $e_1^a(x=0,005)=122,9$ меВ. Навіть коли концентрація акцепторів відповідає складу $x=0,01$, амплітуда модуляції все ще є більшою за таку для випадку n -HfNiSn ($e_1^a(x=0,01)=54,08$ меВ), що вказує на ще істотну компенсацію напівпровідникового матеріалу за високих температур.

У разі подальшого легування n -HfNiSn акцепторною домішкою Rh ($x>0,02$) провідність термометричного матеріалу зростає через наближення рівня Фермі до рівня протікання валентної зони, що суттєво полегшує термічний закид дірок з утвореного акцепторного рівня. Це супроводжується зниженням ступеня компенсації напівпровідникового матеріалу, зменшуючи амплітуду модуляції зон неперервних енергій та дрібномасштабної флуктуації, про що свідчить хід залежностей $e_1^a(x)$ та $e_3^a(x)$, відповідно (рис. 4). Існування високотемпературної активації у зразках HfNi_{1-x}Rh_xSn, $x=0,10$, показує, що ця концентрація домішки недостатня для реалізації переходу провідності діелектрик–метал, а рівень Фермі віддалений від рівня протікання валентної зони енергетичним зазором $e_1^r(x=0,10)=7,3$ меВ.

Висновки. Отже, у результаті проведеного дослідження електронної структури, магнітних та електродинамічних характеристик термометричного матеріалу HfNi_{1-x}Rh_xSn встановлено:

– легування напівпровідника n -HfNiSn домішкою Rh супроводжується одночасним зменшенням і ліквідацією структурних дефектів донорної природи (до $x \approx 0,02$) та збільшенням концентрації дефектів акцепторної природи ($0 < x \leq 0,10$);

– експериментально доведено факт різного ступеня компенсації напівпровідникового матеріалу за різних температур;

– результати розрахунку електронної структури термометричного матеріалу HfNi_{1-x}Rh_xSn, що ґрунтуються на запропонованій моделі просторового розташування атомів, узгоджуються з результатами магнітних та кінетичних характеристик напівпровідникового матеріалу;

– отриманий та досліджений термометричний матеріал HfNi_{1-x}Rh_xSn можна використати для реалізації на його основі первинних перетворювачів температури електрорезистивних та термоелектричних термометрів, характеристики яких нечутливі до впливу зовнішнього магнітного поля.

Роботу виконано за грантом Національної академії наук України (№ 0106U000594).

1. Ромака В.А., Ромака В.В., Стадник Ю.В. Інтерметалічні напівпровідники: властивості та застосування. – Львів: Львівська політехніка, 2011 – 488 с.
2. Romaka V.A., Rogl P., Stadnyk Yu.V., Romaka V.V., Hlil E.K., Krayovskii V.Ya. and Horyn A.M. Features of the Conduction Mechanisms of the n -HfNiSn Semiconductor Heavily Doped with the Co Acceptor Impurity // Semiconductors. – 2012. – V. 46, № 9. – P. 1106–1113.
3. Mott N.F. Metal-Insulator Transitions (Second Edition, London-Bristol: Taylor & Francis, 1990. – 266 p.
4. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. – М.: Наука, 1979. – 416 с.
5. Romaka V.A., Stadnyk Yu.V., Romaka V.V., Fruchart D., Gorelenko Yu.K., Chekurin V.F., Horyn A.M. Features of Electrical Conductivity in the n -ZrNiSn Intermetallic Semiconductor Heavily Doped with the In Acceptor Impurity // Semiconductors. – 2007. – Vol. 41, № 9. – P. 1041–1047.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

УДК 536.53

АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА ПІДБОРУ ПАР ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ОПОРУ ДЛЯ ТЕПЛОЛІЧИЛЬНИКІВ

Ї Питель Іван, Микитин Ігор, Івах Роман, 2013

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,
вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розроблено уставу для метрологічної перевірки термоперетворювачів опору та для автоматичного підбору пар термоперетворювачів на базі персонального комп'ютера.

Разработана установка для метрологической поверки термопреобразователей сопротивления и для автоматического подбора пар термопреобразователей на базе персонального компьютера.

A charter for metrological verification thermal resistance and for automatic matching pairs of thermocouples on a personal computer.

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку України енергогенерувальні підприємства, постачальники та споживачі теплової енергії, враховуючи зростання цін на енергоносії, зацікавлені у підвищенні точності та достовірності результатів вимірювання теплової енергії.

Сьогодні на підставі позитивних результатів випробувань до Держреєстру засобів вимірювань України внесено понад 100 типів пристроїв обліку теплової енергії. Розробники прагнуть забезпечити високий рівень точності вимірювальних систем теплової енергії, проте низька достовірність прийнятих методів оцінки точності, а також розмаїття алгоритмів розрахунку теплової енергії не завжди дають змогу коректно вирішити це завдання.

Вірогідність результатів вимірювання теплової енергії значною мірою залежить від точності вимірювання різниці температур. Як первинний перетворювач температури у пристроях обліку теплової енергії використовують термоперетворювачі опору, метрологічні характеристики яких визначають загальну похибку вимірювання.

Перевірка первинних засобів вимірювання температури – складний та трудомісткий процес, що потребує значних часових, інтелектуальних та фізичних затрат.

До найпоширеніших перетворювачів температури належать термоперетворювачі опору (ТО). Останнім

часом створюються і випускаються нові типи ТО, які завдяки високій стабільності забезпечують вимірювання температури з підвищеною точністю протягом тривалого часу. Виробництво та експлуатація ТО неможливі без високоякісного і високопродуктивного метрологічного забезпечення.

Мета роботи: розроблення уставу для автоматичного підбору пар термоперетворювачів на базі персонального комп'ютера.

Структурна схема уставу. У результаті аналізу методів усунення недоліків створено універсальну автоматичну систему підбору пар термоперетворювачів на базі персонального комп'ютера. Причому розрахунки виконано так, щоб ця система давала змогу реалізувати стандартні верифікаційні схеми. Автоматизована система перевірки засобів вимірювання – це функціонально і конструктивно організований і метрологічно атестований комплекс зразкових засобів вимірювання, засобів обчислювальної техніки, каналів зв'язку і допоміжного обладнання, оснащений методами і програмами перевірки.

Використовуючи запропонований підхід, під час розроблення вимірювального блока автоматизованої уставу для перевірки можна:

- забезпечити необхідну точність перевірки;

- усунути вплив опору з'єднувальних дротів і контактів, нестабільність струму в колах ТО;
- забезпечити універсальність вимірювального блока;
- забезпечити автоматизацію процесу вимірювання, підвищити продуктивність і культуру праці.

Згідно з нормативними документами перевірка ТО може проводитися двома способами:

- за реперними точками;
- порівнянням зі зразковим ТО в термостаті.

Фактично усі методики підбору пар складаються з двох етапів:

- визначення індивідуальних залежностей $R(t)$ «холодного» і «гарячого» термометрів;
- порівняння індивідуальних залежностей двох термометрів з метою узгодження їх у парі, що забезпечує мінімальну похибку вимірювання різниці температур під час роботи з обчислювачем.

Похибка вимірювання температури за допомогою термоперетворювачів опору має такі складові:

- випадкова похибка, зумовлена технологічним розкидом опорів і температурних коефіцієнтів термоперетворювачів;
- систематична похибка, зумовлена термоелектричним ефектом. Ця складова похибки виникає тоді, коли до платинового або нікелевого перетворювача під'єднують звичайні мідні провідники, а їх з'єднання мають різну температуру. Термо-ЕРС виникає також у контактах міді та свинцево-олов'яного з'єднання (значення термо-ЕРС становить 1..3 мкВ/°C);
- тепловий та флікер-шум вимірюваного опору;

- самонагрівання термоперетворювача;
- похибка методу (схеми вимірювання) опору, що залежить від довжини провідників, які з'єднують вимірювальний модуль з термоперетворювачем;
- похибка вимірювального модуля.

Під час розроблення структурної схеми застосовано схемотехнічні та конструктивні рішення для мінімізації похибки визначення метрологічних характеристик термоперетворювачів опору та підбору пар термоперетворювачів. Структурну схему устави для метрологічної перевірки термоперетворювачів опору представлено на рис. 1. До складу устави входять: термостат з блоком регулювання температури, мікроконтролерний блок з комутатором первинних перетворювачів (ПП), омметр та персональний комп'ютер. Устава працює в автоматичному режимі, проводить усі необхідні вимірювання, опрацьовує результати вимірювань та видає повідомлення про придатність ПП до подальшого використання. Перед початком перевірки через інтерфейс користувача можна задати характеристики та тип ПП.

Процесом виконання перевірки ПП керує персональний комп'ютер. Усі сигнали керування та вимірювана інформація проходять через мікроконтролерний блок від/до персонального комп'ютера. Персональний комп'ютер по чергово задає блоку регулювання термостата завдання на підтримання певних температурних точок (наприклад, три точки: 0 °C, 50 °C, 100 °C) та контролює вихід на кожну з них. При виході на робочу температуру та після її часової стабілізації вимірюють значення опору ПП.

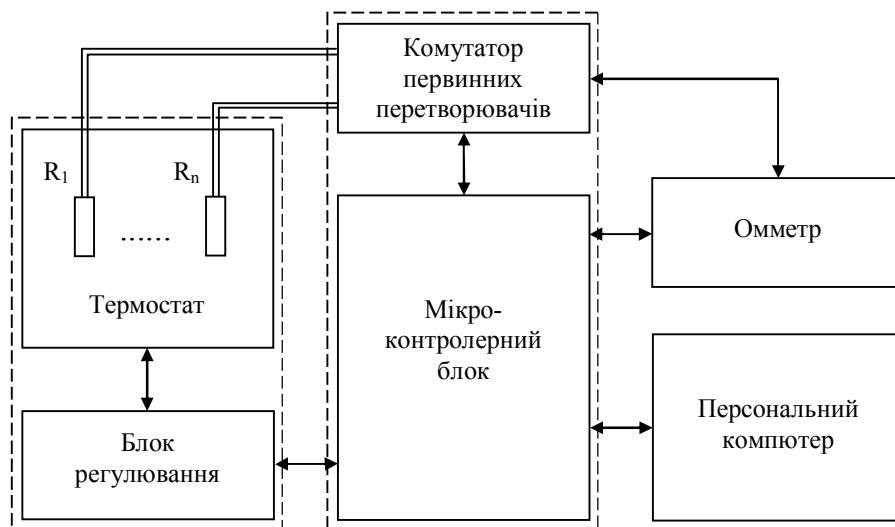


Рис. 1. Устава для метрологічної перевірки термоперетворювачів опору

Первинні перетворювачі $R_1...R_n$ розташовують у робочій камері термостата та під'єднують до комутатора. Комутатор по чергово під'єднує ПП до омметра, виконують декілька вимірювань значення опору ПП і результати вимірювань передаються до персонального комп'ютера. Вимірювання проводять у кожній заданій температурній точці. На персональному комп'ютері за отриманими результатами вимірювань розраховують похибки вимірювання у кожній температурній точці та роблять висновок про клас термоперетворювача.

Результати метрологічної перевірки виводяться на екран монітора та можуть бути роздруковані.

Устава підтримує низку сервісних функцій: перевіряє власну працездатність та наявність зв'язку між усіма функціональними блоками, знаходить номінальне значення опору термоперетворювача, перевіряє наявність короткого замикання та розриву за кожним каналом вимірювання, дає повідомлення про стан перевірки, а також про несправності у роботі. Алгоритм роботи устави представлено на рис. 2.

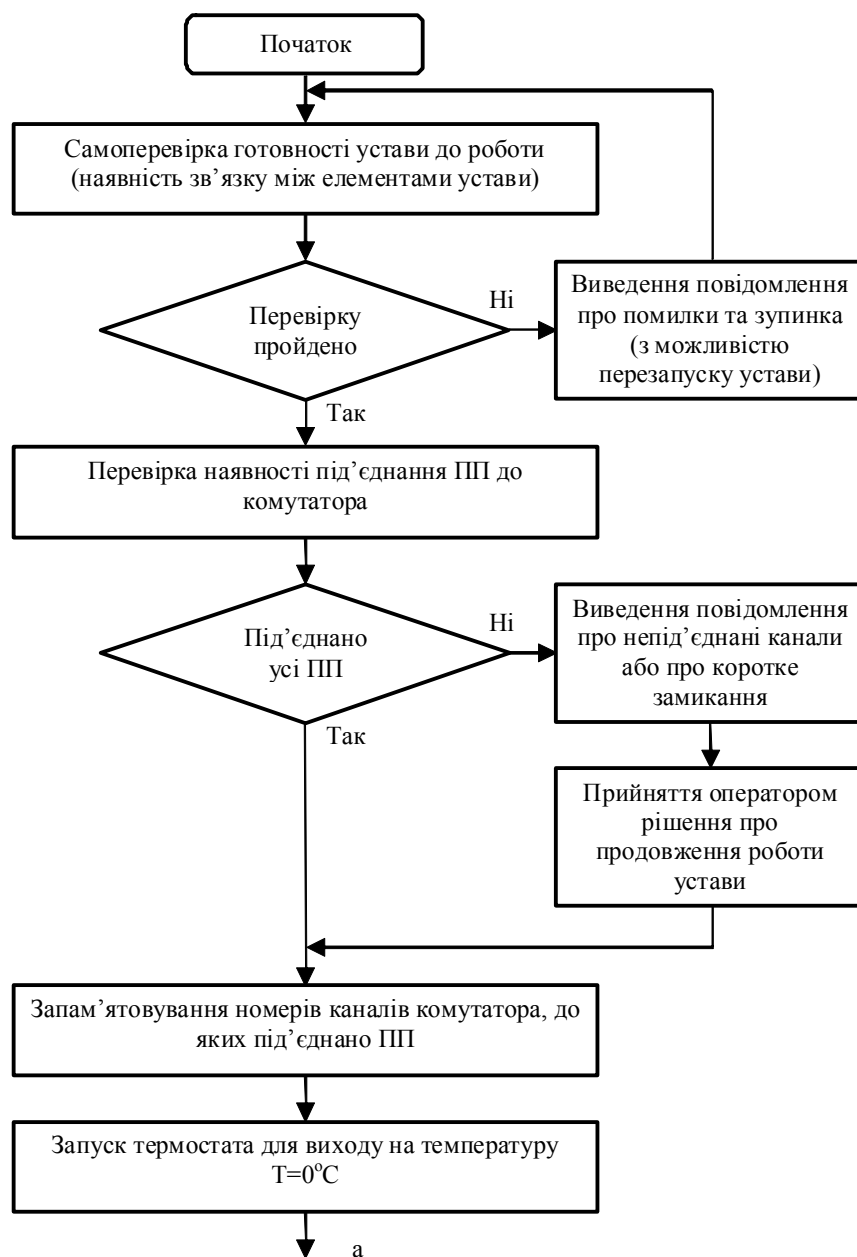


Рис. 2. Алгоритм роботи устави для метрологічної перевірки термоперетворювачів опору

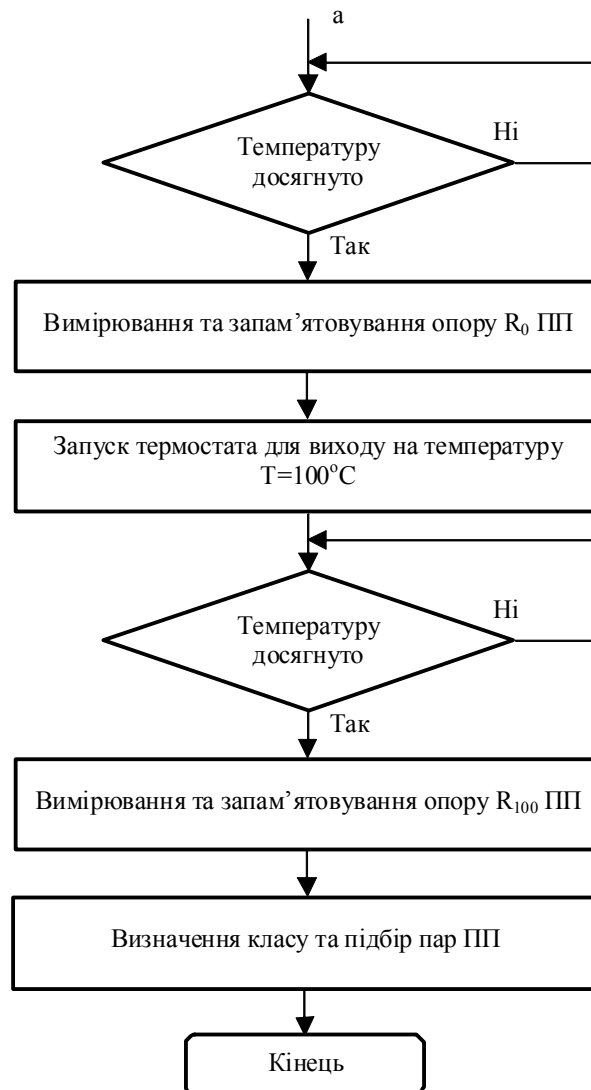


Рис. 2. Алгоритм роботи устави для метрологічної перевірки термоперетворювачів опору (продовження)

Висновки. Розроблена устава дає змогу в автоматичному режимі виконувати метрологічну перевірку термоперетворювачів опору та підібрати пари термоперетворювачів для теплотічильників. Запропонована

структурна схема та алгоритм роботи устави забезпечують мінімально можливий час та високу достовірність отриманих результатів перевірки.

МЕТРОЛОГІЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ

УДК 504.75:681.2.543

НОРМАТИВНІ ВИМОГИ ЩОДО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ КОРОЗІЙНОГО СТАНУ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

О Чабан Олеся¹, Юзевич Лариса², 2013

¹Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, кафедра медичної інформатики,
вул. Пекарська, 69, 79010, Львів, Україна

²Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розроблено рекомендації щодо поєднання в нормативному документі вимог контролю ступеня захищеності підземних трубопроводів зі сталі в корозійному середовищі з позицій електрохімії і механіки деформівного твердого тіла.

Разработаны рекомендации относительно объединения в нормативном документе требований, касающихся контроля степени защищенности подземных трубопроводов из стали с позиций электрохимии и механики деформируемого твердого тела.

Recommendations in relation to combination in the normative document of requirements in relation to control of degree of security of underground pipelines from steel in a corrosive environment from positions of electrochemistry and mechanics of deformable solid are worked out.

Аналіз сучасних тенденцій у галузі забезпечення надійності підземних трубопроводів (ПТ) зі сталі дав змогу виявити ряд недоліків, пов'язаних з недостатньою актуальністю нормативно-технічних документів (НТД), оскільки не враховано всі особливості протикорозійного захисту.

Підземні трубопроводи функціонують у специфічних корозійних умовах агресивного впливу ґрунтового середовища, що зумовлює необхідність протикорозійного захисту. Ефективність протикорозійного захисту визначає надійність ПТ. Вид захисту диктується техніко-економічними особливостями. Розробляючи проекти, враховують наявність або відсутність блукаючих струмів, корозійну агресивність ґрунтів на трасі прокладання ПТ, тип протикорозійної ізоляції та її стан. Задачі оцінювання ресурсу ізоляції та металу ПТ досить складні, оскільки залежать від багатьох причин. Основні з них – якість ізоляції та її взаємодія з навколишнім ґрунтом. На якість ізоляції впливає якість матеріалів, якість процедури очищення труб, реалізація заходів щодо

захисту ізоляції від пошкоджень в процесі прокладання труб і у процесі експлуатації ПТ.

Стандарти щодо забезпечення надійності сталевих ПТ бажано удосконалювати. Проте вони повинні враховувати критерії і принципи розрахунку параметрів, які були в минулому [1]. Особливу увагу варто звернути на інформацію, представлену в електрохімічних критеріях, а також у критеріях, які стосуються адгезійної міцності покриттів [1, 2].

Зв'язок проблеми з науковими та практичними завданнями

Практичне завдання. Доцільно доповнити систему чинної нормативної документації уточненою інформацією про адгезійні особливості покриттів. Ступінь агресивності середовища щодо трубопровідної системи оцінюють за допомогою показників корозійних ефектів для металу (сталі), які визначають особливості руйнування металу, а також умови відшарування покриттів.

Наукове завдання. З метою удосконалення наявної науково-технічної документації необхідно розробляти

нові методики і засоби моніторингу підземних трубопроводів, які враховували би послідовність технологічних операцій, що забезпечують якість і довговічність сталевих конструкцій під час виготовлення, монтажу, нанесення якісних покриттів та подальшої експлуатації у ґрунтовому електроліті. Розуміння цих операцій дасть змогу оцінювати якість процедур діагностики стану конструкції та прогнозування умов корозійного розтріскування під напругою (КРН) або стрес-корозійного розтріскування (СКР) металу труби.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з цієї проблеми. Ступінь корозійної агресивності режиму експлуатації встановлюють для конкретних об'єктів залежно від макрокліматичного району і категорії розміщення конструкцій за ГОСТ 15150-69 та СОУ ЖКГ 41.00-35077234.010:2008 з урахуванням технологічного характеру і марки матеріалу конструктивних елементів [3,4]. У праці [2] конкретизовано електрохімічні критерії, за допомогою яких визначають схильність ПТ. Розглянуто новий підхід щодо оцінювання корозійних явищ у дефектах магістральних трубопроводів [5].

Зокрема, запропоновано для оцінювання адгезії покриття на поверхні трубопроводу використовувати три параметри: міцність зчеплення покриття з поверхнею матеріалу (власне адгезію), міцність на розтяг захисного покриття (когезійну міцність покриття) і міцність на розтягування матеріалу труби, що захищається [5]. Завдяки такому підходу доповнено систему чинної нормативної документації уточненою інформацією про ступінь агресивності корозійного середовища (зокрема, ґрунтового електроліту) з урахуванням інтегрального критерію оцінювання біокорозійної агресивності ґрунтів, який враховує, крім електроопору, також кількість корозійно найнебезпечніших груп мікроорганізмів і елементи хімічного складу ґрунтів.

Сумісне використання критерію теорії тріщин (який відображає зв'язок порогового значення коефіцієнта інтенсивності напружень K_{ISCC} з роботою пластичної деформації в розрахунку на одиницю новоствореної поверхні при поширенні тріщини P_{PL} і перенапруженням анодної реакції z) і критерію міцності Гріфітса–Орована дозволяє досить детально з позицій електрохімії, фізики поверхневих процесів і механіки руйнування вивчати механізми поширення корозійних тріщин у ПТ, що містяться в агресивних середовищах.

Введення стандартів ДСТУ 4219-2003 і ДСТУ Н Б В.2.3-21:2008 разом з інформацією праці [5] в систему нормативної документації дає змогу частково регламентувати оцінювання міцності, довговічності та залишкового ресурсу ПТ з експлуатаційними дефектами, на які впливає агресивне корозійне середовище.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрих стосується стаття. У праці [5] не враховано методики, які би визначали місця пошкодження ізоляційного покриття, давали змогу вимірювати поляризаційні потенціали по всій довжині ПТ, корозійну активність ґрунту та швидкість залишкової корозії металу (сталі) в дефектах захисного покриття, визначати величини та напрямки струму, що протікає по ПТ.

Об'єкт досліджень – поверхневі шари металу трубопроводу з нанесеним ізоляційним покриттям.

Предмет досліджень – нормативні документи, які допоможуть контролювати технічний стан підземного трубопроводу, а також проводити кількісні оцінювання корозійних параметрів та характеристики міцності металу і покриття.

Формулювання задачі. В основі досліджень – аналіз нормативних документів, які допоможуть прогнозувати корозійне руйнування металу, що ініціюється і розвивається на зовнішній поверхні трубопроводу. Вважається, що труба покрита ізоляційним покриттям і перебуває в умовах катодного захисту за одночасного впливу механічних навантажень і корозійного середовища (ґрунтового електроліту).

Основна частина. Розглядаємо корозійне розчинення металу (сталі) на зовнішній поверхні труби, покритій тонким ізоляційним шаром, в умовах катодного захисту за одночасного впливу механічного навантаження і корозійно-активного середовища [5]. Корозійне середовище моделюємо водним розчином електроліту з різним значенням водневого показника рН.

Використання стандарту ISO 12944:1998 «Лаки і фарби – захист від корозії сталевих конструкцій системами захисних покриттів» дозволяє встановлювати вимоги до захисних покриттів з урахуванням періоду наступного ремонту. При цьому рівень руйнування покриття до першого повного ремонтного фарбування повинен бути погоджений зацікавленими сторонами та встановлений у процесі контролю відповідно до стандартів ISO 4628-8:2005 і ДСТУ 4219-2003 [6,7].

Як основні критерії ступеня захищеності ПТ від електрохімічної корозії використаємо фундаментальні показники: поляризаційний E_p та корозійний E_c потенціали, швидкість ґрунтової корозії i_c (густину електричного струму), швидкість залишкової корозії i_{KO} металу трубопроводу [8].

ПТ умовно розглядаємо як металевий електрод із захисним покриттям у розчині ґрунтового електроліту. В разі вмикання зовнішнього джерела струму (установки катодного захисту – УКЗ) рівновага електрохімічних реакцій, що проходять на відкритій поверхні металу при потенціалі E_c , змінюється [8]. При цьому поляризаційний потенціал трубопроводу E_p зміщується на величину ΔE_p в негативну область. Взаємозв'язок потенціалів виражається співвідношенням [8]:

$$\Delta E_p = |\bar{E} - \Delta E_s - E_s|, \quad (1)$$

де $\bar{E}$ – сумарний електрохімічний потенціал, який, коли увімкнено УКЗ, повинен дорівнювати захисному потенціалу ΔE_s ; ΔE_s – омична складова потенціалу. В сумарний потенціал входить, крім поляризаційної складової ΔE_p , також омична складова ΔE_s , зумовлена падінням потенціалу на захисному покритті та анодному заземлювачі. Зазначимо, що поляризаційний потенціал локалізується в межах подвійного електричного шару (ємності C_D) на поверхні труби та визначає швидкість перебігу корозійних процесів згідно з рівняннями:

$$i_{KO} = i_c \cdot 10^{E_*}; \quad E_* = \frac{\bar{E}_c - \bar{E}_p}{b_a}; \quad (2)$$

$$i = i_c (10^{E_z} - 10^{-E_z}); \quad E_z = \frac{E - E_c}{b_a}, \quad (3)$$

де i_c – швидкість ґрунтової корозії металу; $\bar{E}_c$ – корозійний потенціал; $\bar{E}_p$ – поляризаційний потенціал; i , b_a – густина струму і тафелевський нахил анодної поляризаційної кривої відповідно.

У разі катодної поляризації ПТ виконується умова $i_a < i_{cor}$, де i_a – густина анодного струму, i_{cor} – густина струму корозії [9]. Зниження i_a досягають, накладаючи катодний поляризуючий струм з густиною i_p . Ефективність катодного захисту оцінюють на основі використання відомих відношень – коефіцієнта гальмування корозії g , а також ступеня захисту P [9]:

$$g = \frac{i_{cor}}{i_a}, \quad P = 1 - \frac{1}{g}. \quad (4)$$

Для контролю за станом металу і параметрами (4) використовується електрохімічна мікропроцесорна система (ЕХМС) [8]. З допомогою ЕХМС проводять корозійний моніторинг ПТ і визначають: місця пошкодження ізоляційного покриття, корозійну активність ґрунту, швидкість залишкової корозії металу трубопроводу у дефектах захисного покриття, вимірюють поляризаційний потенціал по всій довжині трубопроводу. ЕХМС необхідна для обстеження труб в зонах впливу блукаючих струмів, вимірювання різниці потенціалів між ПТ та сусідніми металевими спорудами, для визначення величини та напрямку струмів, що протікають по трубопроводу [8].

За допомогою ЕХМС виконується обстеження системи електрохімічного захисту підземних та наземних комунікацій. До складу ЕХМС входять такі прилади та пристрої [8]:

блок ЕХМС для вимірювання захисного, поляризаційного потенціалів ПТ та градієнта потенціалів, швидкості ґрунтової та швидкості залишкової корозії металу;

корозійний зонд – сенсор для визначення швидкості корозії (струмів) та електрохімічного потенціалу;

пристрій для заглиблення корозійного зонда; мідно-сульфатні електроди порівняння;

з'єднувальні кабелі;

переривачі струму, що синхронізуються на струм до 50 А;

система GPS (глобального супутникового позиціонування) — для визначення координат контрольної точки.

Методика оцінювання корозійного стану ПТ за допомогою ЕХМС дає змогу [8]:

визначати місця пошкодження ізоляційного покриття з точністю $\pm 0,5$ м на різних рівнях залягання трубопроводу;

визначати корозійний та поляризаційний потенціали, потенціал з омичною складовою відносно насиченого мідно-сульфатного електрода порівняння, поздовжнього градієнта потенціалів по всій довжині трубопроводу;

визначати швидкість ґрунтової корозії металу труби в діапазоні $[10^{-5} \div 5 \text{ мм/рік}]$;

визначати швидкість залишкової корозії металу труби в дефекті захисного покриття у діапазоні $[10^{-5} \div 5 \text{ мм/рік}]$;

прогнозувати корозійний стан металу труби під захисним покриттям, що відшарувалося.

Вимірювальний блок (ВБ) ЕХМС відповідає таким технічним вимогам [8]:

електроживлення від акумуляторної батареї; час безперервної роботи без додаткового заряджання – не менше за 12 год;

кількість незалежних вимірювальних каналів – 5, з яких два канали – для вимірювання потенціалів, зокрема корозійний та поляризаційний, один канал – для вимірювання градієнта потенціалів;

два канали – для вимірювання швидкості (струмів) ґрунтової корозії металу труби;

діапазон вимірювання різниці потенціалів становить ± 10 В;

діапазон вимірювання градієнтів потенціалів – ± 1 В;

захист від перенапруги на вході вимірювальних каналів;

пам'ять ВБ містить інформацію, яка відповідає результатам більше ніж 2000 вимірювань;

додатково до значень вимірюваних фізичних параметрів пам'ять ВБ містить інформацію про відстань від реперної точки та текстовий коментар (не менше за 100 символів);

величини, що вимірюються, відстань від реперної точки та текстові коментарі відображаються на індикаційному табло; пам'ять ВБ не залежить від елементів живлення; через інтерфейс та стандартний порт дані передаються на ЕОМ;

вхідний опір ВБ під час вимірювання потенціалів – 10 МОм/В.

Заглиблення корозійного зонда дорівнює 2,5 м; довжина обстежуваної ділянки – 1000 м за одно-разовим встановленням апаратури. Комплекс ЕХМС у нормальних умовах використання працює не менше ніж 12 год. Система за захищеністю від впливу навколишнього середовища має звичайне виконання за ГОСТ 12997-84 група С3 для експлуатації у діапазоні температур – 5÷40 °С та за відносної вологості до 95 % [8].

Основним критерієм корозійного стану трубопроводу вважають швидкість залишкової корозії металу (густину струму) для ПТ в дефекті ізоляційного покриття і розраховують за формулою (2).

Ці чотири величини i_c , $\bar{E}_c$, $\bar{E}_p$, b_a (2) визначають у польових умовах, проводячи корозійний моніторинг ПТ за допомогою ЕХМС.

Для визначення дефектів у захисному покритті трубопроводу використовують один з трьох методів: метод оцінювання розподілу поляризаційного потенціалу E_p , метод оцінювання розподілу сумарного потенціалу E , метод оцінювання градієнта потенціалу $\text{grad}E$.

Згідно з методикою [8] визначають такі величини: E_p , E , та $\text{grad}E$, зокрема:

$$\text{grad}E = \frac{\Delta \bar{E}}{L}, \quad (5)$$

де $\Delta \bar{E}$ – різниця потенціалів між двома електродами порівняння; L – відстань між двома електродами порівняння при вимірюванні градієнта потенціалу.

Всі три величини E_p , E , та $\text{grad}E$ вимірюють за допомогою високоомного вольтметра [8].

При вимірюванні E_p використовується мідно-сульфатний електрод (МСЕ) порівняння.

На рисунку подано блок-схему комп'ютерної програми для аналізу інформації, отриманої в результаті корозійного моніторингу підземного трубопроводу. Важливим елементом комп'ютерної програми є під-програма, яка дає результати розрахунку енергетичних характеристик міжфазних шарів: σ_m – міжфазного натягу, γ_m – міжфазної енергії, A_{ad} – роботи адгезії, γ_{ad} – енергії адгезійних зв'язків, ємності C_D подвійного електричного шару.

Фізичні величини σ_m , γ_m , A_{ad} , γ_{ad} , C_D можна розрахувати за методиками, поданими у працях [10, 11].

На основі запропонованої моделі [10] розраховано ємність C_D на границі метал (сталь) – розчин водного електроліту. Для розрахунків електроємності й ефективної товщини подвійного електричного шару межі розділу «електролітичне водне середовище – метал» використано такі числові значення характеристик матеріалу (сталь-3) [10-13]: густина електронів провідності далеко від поверхні $w_0 = 8,5 \cdot 10^{28}$ 1/м³; коефіцієнт Пуассона $n = 0,27$; модуль Юнга $E = 210$ ГПа; питома густина $r = 7880$ кг/м³. Фізичні характеристики водного розчину електроліту (концентрація NaCl – 1 моль на літр): поверхневі енергія і натяг $g_e = 0,0728$ Дж/м²; $s_{he} = 0,0728$ Н/м [14]. Механічні характеристики водного середовища поблизу поверхні металу близькі до характеристик льоду $n_e = 0,2$; $E_e = 1,3$ ГПа [15].



Блок-схема комп'ютерної програми для аналізу інформації, отриманої в результаті корозійного моніторингу підземного трубопроводу (s_m – міжфазний натяг, g_m – міжфазна енергія, A_{ad} – робота адгезії, g_{ad} – енергія адгезійних зв'язків)

Поверхневу енергію g та натяг s_h сталі визначимо за даними праці [16] на основі методу екстраполяції, за допомогою лінійних залежностей:

$$\begin{aligned}
 s_h &= 1,366 - 0,00056 \cdot (T - T_0); \\
 g &= 1,366 - 0,00056 \cdot (T - T_0); \quad T_0 = 1400 \text{ } ^\circ\text{C}; \\
 \frac{\Delta s_h}{\Delta T} &= 0,00056 \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{К}}; \\
 \frac{\Delta g}{\Delta T} &= 0,00056 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \quad (6)
 \end{aligned}$$

де $\Delta s_h / \Delta T$, $\Delta g / \Delta T$ – температурні коефіцієнти змін поверхневого натягу та поверхневої енергії відповідно.

У результаті для сталі при $T = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ отримаємо: $g = 0,593 \text{ Дж/м}^2$, $s_h = 0,593 \text{ Н/м}$.

За допомогою співвідношень праць [10, 11], використовуючи метод розкладу за малим параметром, для

межі між сталлю і водним розчином електроліту (концентрація NaCl – 1 моль на літр) отримано: механічний $x_{g2} = 0,195 \text{ Дж/м}^2$ і електричний $g_1 = 0,325 \text{ Дж/м}^2$ складники міжфазної енергії g_m .

Позначивши ємність міжфазного електричного конденсатора C_D , за допомогою формул [10]

$$g_1 = (Q_1^s)^2 / (2 \cdot C_D),$$

$$C_D = \epsilon_0 \cdot k / 2, \quad d_x = 2 / k, \quad (7)$$

знаходимо

$$Q_1^s = 0,269 \text{ Кл/м}^2, \quad k = 2,513 \times 10^{10} \text{ 1/м};$$

$$C_D = 111 \text{ мФ/м}^2, \quad d_x = 0,08 \text{ нм}; \quad \Delta \Psi = 2,42 \text{ В}, \quad (8)$$

де Q_1^s – заряд обкладки подвійного електричного шару (в околі межі «розчин електроліту – метал»); d_x –

ефективна товщина подвійного електричного шару; k – параметр, який характеризує питому електроємність подвійного електричного шару; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – електрична стала; $\Delta\Psi$ – стрибок потенціалу напруженості електричного поля у межах подвійного електричного шару.

У розрахунках параметрів (8) враховано зміщення Z_b подвійного електричного шару в глибину металу (сталі). Для зміщення Z_b використовуємо відому формулу [12]:

$$Z_b = (3/(4k_f))(\pi/2 + (E_f/E_v - 1)\arctg(E_v/E_f)^{1/2} - (E_f/E_v)^{1/2}), \quad (9)$$

де Z_b – ширина подвійного електричного шару на поверхні металу; E_f – енергія Фермі; E_v – робота виходу електрона з металу; k_f – хвильовий вектор Фермі. Числове значення для заліза (Fe) становить $Z_b = 0,0242$ нм [11]. Порівнюємо Z_b , d_x і отримаємо відношення $d_x/Z_b = 3,31$.

Для оцінювання міжфазного натягу s_m , міжфазної енергії g_m , роботи адгезії s_{ad} та енергії адгезійних зв'язків g_{ad} використовують співвідношення [11,12]:

$$s_m = s_h - s_{he}; \quad g_m = g - g_e; \quad s_{ad} = s_{he} + s_h - s_m; \\ g_{ad} = g + g_e - g_m. \quad (10)$$

Перший вираз у (10) для s_m – це відоме співвідношення Антонова, а другий для g_m записано аналогічно [12]. Крім того, у розрахунку енергетичних характеристик міжфазних шарів використано відоме в науковій літературі припущення, що поверхневі натяги та енергії твердих тіл і рідин приблизно рівні між собою (за абсолютною величиною), оскільки точніших даних немає, а ті числові дані, що нині є, можуть відрізнитись і в деяких працях такі відмінності досягають 80÷100 % [12].

На основі (10) для системи «сталь – водний розчин електроліту» отримано:

$$s_m = 0,52 \text{ Н/м}; \quad g_m = 0,52 \text{ Дж/м}^2; \\ s_{ad} = 0,146 \text{ Н/м}; \quad g_{ad} = 0,146 \text{ Дж/м}^2. \quad (11)$$

З використанням (11) розраховано відношення величин: $z_s = s_m/s_{ad} = 3,56$; $z_g = g_m/g_{ad} = 3,56$.

На основі комп'ютерної програми (рисунок) концептуально визначено функціональну структуру системи управління протикорозійним захистом ПТ. До складу системи входять такі інформаційні функції: 1) відбір, збереження і відображення інформації, що отримують під час проведення комплексних коро-

зійних обстежень; 2) визначення місць пошкодження ізоляції і діагностика корозійного стану трубопроводу засобами корозіометрії та адгезіометрії; 3) визначення оптимальних режимів роботи установок катодного захисту; 4) прийняття рішень щодо ефективного функціонування ПТ.

Результати і висновки. Запропоновано для оцінювання ступеня захищеності підземних трубопроводів від електрохімічної корозії використовувати фундаментальні показники: поляризаційний E_p та корозійний E_c потенціали, швидкість ґрунтової корозії i_c (густину електричного струму), швидкість залишкової корозії i_{KO} металу трубопроводу. Ефективність катодного захисту запропоновано оцінювати на основі використання коефіцієнта гальмування корозії g , а також ступеня захисту P .

Для контролю за станом металу і параметрами пропонується використовувати електрохімічну мікропроцесорну систему (ЕХМС).

Подано блок-схему комп'ютерної програми для аналізу інформації, отриманої в результаті корозійного моніторингу підземного трубопроводу. В комп'ютерній програмі, що є основою для використання засобів корозіометрії та адгезіометрії, передбачається поєднати інформацію про електрохімічні та фізико-механічні процеси, від яких залежить корозійний стан металу трубопроводу.

Важливим елементом комп'ютерної програми є підпрограма, яка дає результати розрахунку енергетичних характеристик міжфазних шарів: σ_m – міжфазного натягу, γ_m – міжфазної енергії, A_{ad} – роботи адгезії, γ_{ad} – енергії адгезійних зв'язків, ємності C_D подвійного електричного шару.

Запропоновано для оцінювання адгезії покриття на поверхні трубопроводу використовувати три параметри: міцність зчеплення покриття з поверхнею матеріалу (власне адгезію), міцність на розтяг захисного покриття (когезійну міцність покриття) і міцність на розтягування матеріалу труби.

Наведено співвідношення, за допомогою яких пропонується досліджувати міжфазний шар у системі «метал (сталь) – розчин електроліту» з урахуванням міжфазного натягу і міжфазної енергії в околі межі розділу середовищ. Для параметрів міжфазного шару, які відповідають металу (сталі) і водному розчину електроліту (концентрація NaCl – 1 моль на літр), розраховано числове значення питомої ємності

($C_D = 111 \text{ мФ/м}^2$) та ефективну відстань ($d_x = 0,08 \text{ нм}$) між пластинами поверхневого конденсатора (подвійного електричного шару), роботу адгезії $s_{ad} = 0,146 \text{ Н/м}$, стрибок електричного потенціалу $\Delta\Psi = 2,42 \text{ В}$ (потенціалу напруженості електричного поля), а також енергію адгезійних зв'язків $g_{ad} = 0,146 \text{ Дж/м}^2$ на границі розділу між водним електролітичним середовищем та металом.

Отримані в цій праці результати розрахунку фізичних величин пропонується використовувати як тестові приклади для оцінювання енергетичних та корозійних характеристик міжфазних систем для різних марок сталі, які містяться в агресивних електролітичних корозійних середовищах різного складу.

Поєднання стандартів ДСТУ 4219-2003 (Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії), ДСТУ Н Б В.2.3-21:2008 (Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів із дефектами) з інформацією праць [1–17], комп'ютерною програмою для аналізу інформації, отриманої в результаті корозійного моніторингу підземного трубопроводу (блок-схему подано на рисунку), а також доповненнями, представленими за допомогою співвідношень (1)–(11), в систему нормативної документації дасть змогу регламентувати оцінювання міцності, довговічності і залишкового ресурсу підземних трубопроводів з експлуатаційними дефектами, на які впливає агресивне електролітичне корозійне середовище.

На основі комп'ютерної програми (рисунок) концептуально визначено функціональну структуру системи управління протикорозійним захистом підземних трубопроводів і сформульовано основні інформаційні та керуючі функції організаційно-технологічного комплексу з урахуванням вимог до засобів корозіометрії та адгезіометрії.

1. Ориняк І. В. Основні особливості національного стандарту ДСТУ-Н Б В.2.3-21:2008 "Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів із дефектами" / І. В. Ориняк, А. Я. Красовський, М. В. Бородій // *Проблеми прочності*. – 2009. – № 5. – С. 18–27. 2. Поляков С. Г. Основні закономірності стрес-корозійного розтріскування магістральних газопроводів / С. Г. Поляков, А. О. Рибаків // *Проблеми прочності*. – 2009. – № 5. – С. 7–17. 3. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов.

Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. 4. Стандарт житлово-комунального господарства України. СОУ ЖКГ 41.00-35077234.010:2008. Захист протикорозійний. Загальні вимоги та методи контролювання. 5. Чабан О. Нормативні вимоги щодо захисту магістральних трубопроводів від корозії / О. Чабан, Л. Юзевич // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – 2012. – № 73. – С. 122–127. 6. ISO 4628-8:2005. Paints and varnishes. Evaluation of degradation of coatings. Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance. Part 8: Assessment of degree of delamination and corrosion around a scribe. 7. ДСТУ 4219-2003. Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії. – Київ, 2003. – 86 с. 8. Чвірук В. П. Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ / В. П. Чвірук, С. Г. Поляков, Ю. С. Герасименко. – Київ: Академперіодика, 2007. – 223 с. 9. Красноярский В. В. Коррозия и защита подземных металлических сооружений / В. В. Красноярский, Л. Я. Цикерман. – М.: Высшая школа, 1968. – 296 с. 10. Джала Р. М. Термодинамічний підхід до контролю параметрів на границі сталь - водне середовище / Р. М. Джала, М. І. Мельник, Л. В. Юзевич // *Матеріали 17-ї міжнародної науково-технічної конференції "Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів ЛЕОТЕСТ-2012"*. 20-25.02.2012. Славське Львівської області. – Львів, 2012. – С. 132–134. 11. Коман Б. П. Внутренние механические напряжения, термодинамические и адгезионные параметры в системе металлический конденсат–монокристаллический кремний / Б. П. Коман, В. Н. Юзевич // *Физика твердого тела*. – 2012. – Т. 54, вып. 7. – С. 1335–1341. 12. Сопрунюк П. М. Діагностика матеріалів і середовищ. Енергетичні характеристики поверхневих шарів / П. М. Сопрунюк, В. М. Юзевич. – Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України, вид-во "СПОЛОМ". – 2005. – 292 с. 13. Таблицы физических величин: справочник / под ред. И. К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976. – 1006 с. 14. Федорова А. А. Поверхностное натяжение и адсорбция электролитов на границе раздела фаз водный раствор – газ / А. А. Федорова, М. В. Улитин // *Журнал физической химии*. – 2007. – Т. 81, № 7. – С. 1278–1281. 15. Дучков А. Д. Температурный режим оз. Байкал и связанные с ним внутренние напряжения и смещения в ледяной плите / А. Д. Дучков, В. Е. Истомин, С. А. Казанцев //

Физическая мезомеханика. – 2007. – № 10. – С. 87–92.
 16. Еланский Г. Н. Исследование угара железа в дуговых электропечах и изменения физических свойств стали при внепечной обработке / Г. Н. Еланский, М. В. Шишимиров, О. М. Сосонкин и др. // Труды научных

чтений “Физико-химия металлических расплавов”. – Москва: ИМЕТ им. А. А. Байкова РАН, 2007. – С. 1–7.
 17. Eustathopoulos N., Joud J.-C. Interfacial tension and adsorption of metallic systems // Current Topics in Material Science. – 1980. – Vol. 4. – P. 281–360.

УДК 366:346.548

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У СФЕРІ ЗАХИСТУ ПРАВ СПОЖИВАЧІВ

© Плахтії Юлія, Байцар Роман, 2013

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розглянуто основні проблеми захисту прав споживачів в Україні. Наведено порівняльний аналіз європейського та вітчизняного нормативно-правового забезпечення у цій сфері.

Рассмотрены основные проблемы защиты прав потребителей в Украине. Приведен сравнительный анализ европейского и отечественного нормативно-правового обеспечения в этой сфере.

The main problems of consumer protection in Ukraine have been covered. The comparative analysis of European and domestic regulatory framework in this area has been carried out.

Вступ. У процесі ринкових перетворень, ускладнених такими явищами, як інфляція та підвищення цін, значно знизився рівень соціального захисту населення. Зростає кількість скарг споживачів на незадовільну якість продукції, надання послуг та обслуговування [1].

Недостатньо реалізується право споживача на отримання необхідної йому достовірної інформації про товари, роботи, послуги, а також права споживачів бути почутими, захищеними та одержати відшкодування збитків за завдану шкоду. Не повною мірою до захисту прав споживачів в Україні залучені громадські організації та спілки.

Сьогодні споживчим громадським організаціям належить провідна роль у справі пропаганди споживчих знань у суспільстві, захисті населення від монополістів і несумлінних виробників, вирішенні питань безпечного виробництва, пропаганді ідей раціонального споживання і розв'язанні проблеми взаємодії людини і навколишнього середовища.

Загалом можна виділити такі основні чинники, які впливають на рівень захисту прав споживачів:

- Ø недосконале законодавство;
- Ø недостатнє фінансування, матеріально-технічна та кадрова база;
- Ø відсутність навчання споживачів;

- Ø непоінформованість споживачів щодо своїх прав;
- Ø бездіяльність центральних та місцевих органів влади та органів місцевого самоврядування щодо реалізації прав та інтересів споживачів;

- Ø корупція в органах влади;

- Ø недовіра громадян.

Незважаючи на всі ці перешкоди та труднощі, Україна намагається налагодити ефективну систему захисту прав споживачів. Це засвідчує співпраця держави у цій галузі з Європейським Союзом (ЄС), Організацією Об'єднаних Націй тощо.

Мета досліджень. Дослідити законодавче забезпечення у сфері захисту прав споживачів у ЄС. Визначити основні проблеми захисту прав споживачів в Україні. Порівняти європейське та вітчизняне нормативно-правове забезпечення у цій сфері.

Нормативно-правове забезпечення у сфері захисту прав споживачів у ЄС. Споживча політика ЄС не є цілісною системою відносин, яка регулювала б усі аспекти захисту споживачів. Директиви ЄС – це доволі строката структура, яка детально регулює певні сфери, а інші залишаються неврегульованими. Підкреслимо, що окремі держави-члени ЄС досі відповідають за цілісність

структури власної споживчої політики та захисту прав споживачів. Директиви ЄС містять мінімальні стандартні функції у вибраних сферах, особливо у тих, які торкаються внутрішнього ринку. Держави-члени ЄС мають право перевищувати норми, передбачені у директивах щодо захисту прав споживачів, за умови, що їхні нормативи не обмежують вільного переміщення товарів і послуг у межах внутрішнього ринку.

Держави-члени ЄС створили системи захисту прав споживачів, які значно різняться між собою. У деяких випадках ці відмінності перешкоджали діяльності внутрішнього ринку. Наприклад, існують значні розбіжності між законодавством, яке регулює комерційну діяльність підприємств, спрямовану на кінцевого споживача, на внутрішньому ринку, що спричинено національно-специфічними нормативами, і відмінностями у загальних принципах або юридичній практиці.

Іншим прикладом вищезгаданого є використання саморегуляції та кодексів поведінки. У Данії, Швеції та Фінляндії використання кодексів заохочується для надання практичного змісту загальним правилам. У створенні таких кодексів беруть участь органи захисту прав споживачів. Кодекси поширені також у Великій Британії, Ірландії, Нідерландах, хоча тут органи захисту прав споживачів відіграють менш формальну роль. Застосування саморегуляції, як доповнення до формальних нормативів, менш поширене в інших державах-членах ЄС. Схоже, що застосування саморегуляції у ЄС поступово зростає, хоча й різними шляхами.

Загалом, регулювання споживчого сектору в країнах ЄС можна розділити на дві загальні категорії: горизонтальні та галузеві директиви [2].

Прикладами горизонтальних директив є: Директива про загальну безпеку продукції 2001/95/ЄС; Директива про оманливу рекламу 97/55/ЄС з доповненнями, внесеними Директивою про порівняльну рекламу 84/450/ЄЕС, Директива про індикативні ціни 1998/6/ЄС, Директива про недобросовісні умови споживчих контрактів 93/13/ЄЕС і Директива про продаж споживчих товарів і асоційованих гарантій 99/44/ЄС.

Прикладами галузевих директив є: Директиви про харчову продукцію 2000/13/ЄС, про косметичні засоби 76/768/ЄЕС, про найменування текстильної продукції 96/74/ЄС, про медичну продукцію для застосування людьми 2001/83/ЄС, про комплексні тури 90/314/ЄЕС, про захист прав споживачів під час укладення договорів поза бізнес-приміщеннями 85/577/ЄЕС, про споживче кредитування 87/102/ЄЕС, про контракти за умов дистанційної торгівлі 97/7/ЄС, про вимірювальні прилади 2004/22/ЄС та про набуття права використання нерухомого майна протягом певного часу 94/47/ЄС.

Вітчизняне нормативно-правове забезпечення сфери захисту прав споживачів. З розвитком ринкових відносин в Україні на початку 90-х років виникла необхідність розроблення ефективного механізму захисту прав і законних інтересів громадян-споживачів. Здійснення державної споживчої політики неможливе без відповідного нормативно-правового регулювання. Сьогодні можна констатувати, що в Україні створена і постійно розвивається та удосконалюється законодавча база в сфері захисту прав споживачів, її розвиток умовно можна поділити на три етапи (див. рисунок).

Три етапи розвитку законодавчої бази в сфері захисту прав споживачів

Перший етап

- Декларація про державний суверенітет України
- Закон України «Про захист прав споживачів»
- Створення Державного комітету України у справах захисту прав споживачів

Другий етап

Забезпечення ефективного контролю за якістю і безпекою продукції та усіх видів робіт і послуг, вдосконалення чинного законодавства про захист прав споживачів

Третій етап

Розроблені та прийняті законодавчі акти стосовно визначення основних напрямів державної та соціальної політики у сфері захисту прав споживачів та їх подальшого розвитку

*Етапи розвитку вітчизняного законодавства
щодо захисту прав споживачів*

Перший етап розвитку законодавства України про захист прав споживачів розпочався з ухвалення Верховною Радою УРСР 16 липня 1990 р. Декларації про державний суверенітет України, яка заклала основоположні принципи побудови незалежної Української держави, її соціально-економічної та правової системи. 12 травня 1991 р. Україна першою серед колишніх республік СРСР ухвалила Закон України "Про захист прав споживачів".

Наступного року постановою Кабінету Міністрів України від 1 червня 1992 р. "Про створення Державного комітету України у справах захисту прав споживачів" Державну інспекцію України по захисту прав споживачів при Кабінеті Міністрів України перейменовано на Державний комітет України у справах захисту прав споживачів.

Другий етап розвитку споживчого законодавства пов'язаний з прийняттям Основного Закону – Конституції України 28.07.1996 р.. З цього моменту право споживача стало одним з основних прав людини, яке гарантоване Конституцією України. Держава бере на себе обов'язок встановлювати для виробників певні вимоги щодо якості товарів та зобов'язати виробників, продавців та постачальників надавати громадянам всю інформацію щодо властивостей запропонованого споживачам товару. Це забезпечується прийняттям відповідних законів, створенням спеціальних органів з контролю за якістю продукції та захисту прав потерпілих тощо.

Останніми роками в Україні простежується тенденція посилення захисту прав споживачів, забезпечення ефективного контролю за якістю і безпекою продукції та усіх видів робіт і послуг, вдосконалення чинного законодавства про захист прав споживачів. З початком нового століття в Україні розпочався та діє третій етап розвитку законодавства про захист прав споживачів.

Держава та уряд України розробили й ухвалили законодавчі акти стосовно визначення основних напрямів державної та соціальної політики у сфері захисту прав споживачів та їх подальшого розвитку.

Безперечно, центральне місце в системі споживчого законодавства займає Закон України "Про захист прав споживачів" [3], норми якого визначають основний зміст інституту споживчого права. Цей Закон є спеціальним комплексним законодавчим актом, який містить особливі методи і способи захисту прав споживачів. Зазначимо, що цей Закон поширюється на

всіх споживачів, які перебувають на території України, під час придбання, замовлення або використання товарів (робіт, послуг) для задоволення власних побутових потреб. Відповідно до положень Закону споживач має право вимагати від продавця (виробника, виконавця), щоб якість придбаного ним товару (виконаної роботи, наданої послуги) відповідала вимогам нормативних документів, умовам договору, а також інформації про товари (роботи, послуги), які вони надають. Придбаний товар повинен бути якісним і безпечним для життя і здоров'я кожної людини.

Особливе значення у системі споживчого законодавства мають норми Цивільного кодексу (ЦК) України, які встановлюють правила укладання договорів купівлі-продажу, підяду, перевезення, схову, страхування та інших договорів у сфері торгівлі та побутового обслуговування, юридичну відповідальність за неналежне їх виконання чи невиконання [4].

Кодекс України про адміністративні правопорушення також містить норми, які встановлюють засоби адміністративного регулювання у сфері захисту прав споживачів, а саме – перелік адміністративних правопорушень у сфері торгівлі, громадського харчування, послуг та відповідні санкції [5].

Господарський кодекс України визначає основні засади господарювання в Україні та регулює господарські відносини, що виникають у процесі організації та здійснення господарської діяльності між суб'єктами господарювання, а також між цими суб'єктами та іншими учасниками відносин у сфері господарювання, тобто і ті відносини, що виникають між суб'єктами споживчого права.

У Законі України "Про захист прав споживачів" та інших законодавчих актах у сфері захисту прав споживачів можна виділити певні визначальні принципи, характерні для побудови їх правових норм, зокрема:

- встановлення державних обов'язкових вимог до якості товарів (робіт, послуг), торговельного та інших видів обслуговування населення;
- пріоритету законодавчого врегулювання договірних відносин між продавцями (виконавцями) та покупцями (замовниками);
- встановлення додаткових обов'язків для продавців (виробників) та привілейованих прав для споживачів-покупців (замовників) порівняно із загальними засадами цивільного законодавства;
- встановлення спеціальних способів захисту прав споживачів відповідними органами та об'єднаннями споживачів, а також спрощеного судового захисту.

Існування цих принципів зумовлене необхідністю посилення захисту безпосередніх споживачів товарів і послуг у сучасних умовах розвитку науково-технічного прогресу та підприємництва, що нерідко супроводжується випуском неякісних товарів, зокрема, небезпечних для життя і здоров'я людей. Саме наявність цих принципів у правових нормах дає підстави стверджувати про формування в Україні комплексного правового інституту споживчого права.

Порівняльний аналіз європейського та вітчизняного нормативно-правового забезпечення захисту прав споживачів. В Україні законодавчо-правова база консюмеризму нині налічує понад 40 законів та підзаконних нормативних актів. Зокрема, права споживачів захищає Конституція України. Важливим чинником розвитку правової системи України вважаємо участь України в конвенціях Ради Європи, які встановлюють спільні для цієї організації та ЄС стандарти. Порівняння українського законодавства у сфері забезпечення прав споживачів з міжнародно-правовими актами та документами, такими як Хартія захисту споживачів (1973), Єдиний європейський акт (1986), Маастрихтський договір (1992) та деякі чинні директиви ЄС, дає підставу зробити висновок, що основні норми споживчого права України значною мірою узгоджені з цими стандартами [5].

Поза увагою українського законодавства залишились деякі суттєві елементи законодавства ЄС з питань захисту прав споживачів. Зокрема, формулювання поняття "споживач" є вужчим, ніж у законодавстві ЄС. Порівняно з нормами ЄС занижені вимоги до укладання договорів поза офісними та торговельними приміщеннями, укладання договорів на відстані, не введено поняття дефектної продукції, не відтворено норми ЄС про необхідність викладення попередньої інформації у зрозумілій та доступній для споживача формі, звужено коло суб'єктів відповідальності за неякісну продукцію.

Зазначимо, що в Україні, так само, як і в ЄС, сьогодні розвинена нормативно-правова база у сфері

захисту прав споживачів, але проблема захисту цих прав не вирішена. Негативними чинниками залишаються: підробка товарів, неконтрольований ринок, недостовірна реклама, неякісні товари і послуги, проблема відшкодування збитків тощо. Тому нормативно-правова база України у цій сфері потребує подальшого вдосконалення.

Висновки. Порівняльний аналіз європейського та вітчизняного нормативно-правового забезпечення захисту прав споживачів дає змогу зробити такі висновки:

- Ø рівень вітчизняного законодавства у сфері захисту прав споживачів повинен поступово наближатися до відповідного рівня законодавства ЄС;

- Ø чинні нормативно-правові документи не охоплюють всіх основних проблем захисту прав споживачів, недостатньо регламентують співпрацю громадських організацій та органів державної влади;

- Ø державна політика у сфері захисту прав споживачів, основні принципи та пріоритети відповідають європейським, проте впровадження їх на практиці дещо сповільнене і не цілком відповідає теорії.

1. *Технічне регулювання та підтвердження відповідності в Україні : підручник для вищ. навч. закладів / С.Т. Черепков, С.І. Кондрашов, М.М. Бубонний [та ін.] ; Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т". – Х. : Підручник НТУ "ХПІ", 2010. – 440 с.* 2. *Захист прав споживачів в Європейському Союзі та Україні: аналітичний звіт. 2007. – С. 36.* 3. *Про захист прав споживачів: Закон України від 12.05.1991 р. // ВВР України. – 1991. – № 30. – Ст. 379.* 4. *Кодекс про адміністративні правопорушення від 08.12.1984 р. // ВВР УРСР. – 1984. – Додаток до № 51. – Ст. 1122.* 5. *Кримінальний кодекс України від 05.04.2001 р. // ВВР України. – 2001. – № 25-26. – Ст. 131.* 6. *Цивільний кодекс України від 16.01.2003 р. // ВВР України. – 2003. – № 44. – Ст. 356.* 7. <http://www.ucipr.kiev.ua/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=6032772>.

УДК 621.317

ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ТА ОЗНАКИ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

© Микийчук Микола, Столярчук Петро, Бубела Тетяна, 2013

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Визначено основні завдання метрологічного забезпечення якості продукції та виділено ознаки метрологічної діяльності на підприємстві.

Определены основные задания метрологического обеспечения качества продукции и выделены признаки метрологической деятельности на предприятии.

Certainly basic tasks of the metrology providing quality of products and the signs of metrology activity are selected on an enterprise .

Актуальність. Сучасні зміни в підходах до забезпечення якості продукції істотно підвищують вимоги до організації метрологічної діяльності на підприємстві [1, 2]. Впровадження ефективних науково-методичних і організаційно-технічних заходів адаптації метрологічної діяльності стосовно сучасних вимог управління якістю повинно сприяти підвищенню якості процесів вимірювань у промисловості.

Для досягнення необхідної якості вимірювальних процесів здійснюється їх метрологічне забезпечення (МЗ). Формування нових підходів до організації виробництва, широкомасштабне впровадження систем управління якістю (СУЯ) значною мірою підвищують вимоги до забезпечення метрологічної діяльності на виробництві [1–3]. Це зумовлює пошук способів підвищення якості та ефективності процесів вимірювань на етапі виготовлення продукції та інтегрування їх у процеси забезпечення якості продукції.

Мета роботи – визначення основних завдань та ознак метрологічної діяльності на етапі виготовлення продукції з метою підвищення ефективності процесів МЗ якості продукції.

Аналіз стану метрологічного забезпечення якості продукції. Для створення сучасного конкурентоздатного виробництва виконання вимог забезпечення єдності та потрібної точності вимірювань вже є недостатніми умовами мінімізації втрат через неточність вимірювань. Надзвичайно важливим для виробничих процесів є забезпечення оперативного контролю за якістю виробництва з метою забезпечення необ-

хідної якості та конкурентоздатності продукції. Раціональним шляхом підвищення якості продукції на рівні окремого підприємства є впровадження системи управління якістю (СУЯ) відповідно до вимог стандарту ДСТУ ISO 9001 [4]. Вимірювальні процеси є важливим елементом забезпечення якості продукції на етапі її виготовлення. Для підвищення ефективності метрологічної діяльності на підприємстві важливо інтегрувати метрологічне забезпечення в процеси управління якістю [1, 2].

Сучасні технологічні процеси є складними організаційно-технічними системами [6, 7], для забезпечення ефективного управління якими необхідно контролювати велику кількість параметрів. Тому рівень розвитку МЗ на підприємстві великою мірою визначає стан керованості технологічним процесом, а отже, і ступінь відповідності продукції встановленим вимогам. В організації сучасних виробничих процесів помітнішими стають недоліки традиційної системи МЗ. Ці недоліки зумовлені такими факторами:

- відсутність системного підходу до організації МЗ якості продукції на етапі виготовлення [6–9];
- процедури метрологічного контролю (метрологічна перевірка згідно з ДСТУ 2708, калібрування – ДСТУ 3989) засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), як правило, потребують його демонтажу та проводяться в умовах, відмінних від умов експлуатації, що збільшує непевність результатів вимірювань [6, 10, 11];
- не враховується специфіка промислових ЗВТ, яка полягає у вимірюванні в обмеженій частині його діапазону вимірювання (допустима область зміни технологічного параметра) [2, 6];

- не враховується метрологічна автономність локальної сукупності ЗВТ, які використовують у конкретному виробництві [12, 13];

- значні, часто невинновдані, витрати на процедури підтвердження метрологічної відповідності ЗВТ та методик виконання вимірювань.

В умовах реформування системи технічного регулювання економіки назріла потреба у вдосконаленні МЗ якості продукції на етапі виготовлення. Однак на шляху вдосконалення системи МЗ якості продукції є деякі невирішені проблеми, найбільшю з яких є проблема «суб'єктивно-методичного» фактора [2]. Її можна вирішувати, впроваджуючи елементи СУЯ в систему МЗ, чіткішим формулюванням вимог до персоналу, організацією та проведенням різноманітних заходів із підвищення кваліфікації. Однак на шляху інтегрування МЗ в СУЯ виникає ряд не погоджень. Нині під час впровадження СУЯ у виробництво керуються вимогами ДСТУ ISO 9001:2008, в якому вимоги до МЗЯП встановлено в розділі 7.6 «Управління пристроями для моніторингу і вимірювань». Але необхідно зазначити, що зміст вимог цього розділу виходить за межі питань, що перебувають у компетенції метрологічної служби підприємства [14].

Також у ДСТУ ISO 9001:2008 говориться про «перевірку або калібрування вимірювального устаткування», що створює метрологам труднощі під час визначення ЗВТ, що підлягають метрологічній перевірці. Тим часом Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» та інші нормативні документи стосовно забезпечення єдності вимірювань вказують, що необхідно чітко розділяти ЗВТ, що підлягають метрологічній перевірці чи калібруванню. Зі змісту ДСТУ ISO 9001:2008 зникли введені попередніми версіями стандартів (ДСТУ ISO 9001 (9002, 9003) – 96) терміни «контрольне устаткування» і «випробувальне устаткування», а також вимоги щодо управління ними. Розділ 7.6 називається «Управління пристроями для моніторингу і вимірювань», тоді як вимоги викладено тільки до «вимірювального устаткування». Відмінність між «пристроями для моніторингу і вимірювань» і «вимірювальним устаткуванням» ніяк не визначена.

У ситуації, що склалася, розуміння і виконання вимог ДСТУ ISO 9001:2008 у частині метрологічного забезпечення стає досить проблематичним, а за змістом вимог – істотно неповним. Тому виділимо проблематику, яку необхідно вирішувати, форму-

люючи вимоги до МЗ якості продукції на етапі її виготовлення:

- кожен вимогу розділу 7.6 ДСТУ ISO 9001:2008 інтерпретувати мовою понять та вимог, що встановлені чинними нормативно-правовими актами і нормативними документами з метрології;

- створити можливості чіткої ідентифікації об'єктів, до яких ставлять метрологічні вимоги (засоби вимірювальної техніки, контрольне і випробувальне устаткування, методики виконання вимірювань);

- встановити, що основна мета метрологічної діяльності на виробництві – забезпечити необхідний рівень якості продукції;

- визначити узагальнений показник якості МЗ, який об'єднував би нормування допусків на розкид технологічних параметрів та точність їх вимірювання, що створить умови ефективного управління метрологічними ризиками якості продукції.

Для вирішення вказаних проблем доцільно визначити основні завдання та ознаки МЗ, що сприятиме підвищенню ефективності метрологічної діяльності, оперативності ідентифікації елементів МЗ на етапі виготовлення продукції.

Визначення основних завдань та ознак метрологічного забезпечення якості продукції. Проблема підвищення ефективності процесів вимірювань на етапі виготовлення продукції не нова, однак сьогодні ще однозначно не вирішена. Це зумовлено, передовсім, складністю процесів здійснення МЗ якості продукції, які містять велику кількість нормативно-правових, організаційно-технічних та науково-методичних факторів, що визначають умови досягнення єдності та необхідної точності вимірювань на етапі виготовлення продукції. Традиційно ефективність вимірювань в процесі виготовлення продукції визначається співвідношенням витрат на забезпечення необхідної точності вимірювань та втрат від неточності вимірювань [5, 6]. Оскільки ефективність промислових вимірювань великою мірою визначається ефективністю їх МЗ, то виникає необхідність використання сучасних інструментів мінімізації втрат підприємства через невірність контролю якості процесів виготовлення продукції.

Основною тенденцією у розвитку МЗ є перехід від вирішувального раніше порівняно вузького завдання забезпечення єдності та необхідної точності вимірювань до принципово нового завдання забезпечення якості вимірювань [6, 15]. Якість вимірювань – поняття

ширше, ніж точність вимірювань. Якість вимірювань характеризує сукупність властивостей, що забезпечують отримання у встановлений термін результатів вимірювань з потрібними точністю, вірогідністю, правильністю, прецизійністю, повторюваністю і відтворюваністю.

З позиції системного аналізу, якість — це показник внутрішніх властивостей системи, визначених метою стосовно зовнішньої системи, а ефективність — це показник реалізації її якості відповідно до вимог зовнішньої системи [15]. Вважаючи, що система управління якістю продукції є зовнішньою системою, відносно системи МЗ, то ефективність системи МЗ визначатиметься співвідношенням ефекту від її застосування до затрат на її створення та функціонування.

Якість системи МЗ, як її внутрішня характеристика, визначатиметься ступенем її відповідності завданням із забезпечення якості процесів вимірювань на етапі виготовлення продукції. Основні завдання МЗ якості продукції на етапі виготовлення, як правило, формують в узагальненому вигляді з певною деталізацією реалізації окремих завдань. Такий підхід до узагальнення основних завдань МЗ не сприяє врахуванню всіх аспектів метрологічної діяльності із забезпечення якості продукції та не дає змоги сформулювати основну мету МЗ на етапі виготовлення продукції.

Для чіткішого розуміння процесів МЗ якості продукції на етапі виготовлення доцільно подати структуру його завдань на рис. 1.

Для забезпечення стану єдності вимірювань необхідно відображати результати вимірювань в одиницях системи SI. Однак в процесі виготовлення продукції часто вимірюються не самі значення фізичних

величин, а пов'язані з ними характеристики: співвідношення між величинами, характерна зміна величини тощо. Як правило, ці характеристики є індивідуальною особливістю конкретного технологічного процесу, а тому не використовуються у законодавчо затверджених схемах відтворення та передачі одиниць. Забезпечення простежуваності таких характеристик до одиниць системи SI недоцільне передусім з економічного погляду. Тому для забезпечення єдності вимірювань, з погляду МЗ якості продукції, необхідно для конкретного технологічного процесу створювати методики оцінювання оптимальних значень цих характеристик.

Важливим елементом забезпечення єдності вимірювань є створення умов правильної експлуатації ЗВТ, які визначаються відповідними нормативними документами. Контроль за додержанням правил і умов зберігання та застосування ЗВТ промислового застосування здійснюють уповноважені державні органи. Однак така метрологічна практика, в умовах зростання конкурентної боротьби, вимагає додаткових витрат на забезпечення єдності вимірювань на стадії виготовлення продукції. Ці витрати виникають внаслідок виконання процедур метрологічного контролю — демонтаж та транспортування ЗВТ у калібрувальну лабораторію, транспортування та монтаж ЗВТ на місці експлуатації. Причому, як показують дослідження [10, 11, 16, 17], виконання традиційних процедур метрологічного контролю не дає високої гарантії якісної роботи ЗВТ на місці експлуатації. Це зумовлено передусім неврахуванням умов експлуатації та специфіки виконання вимірювань у виробничих умовах.



Рис. 1. Основні завдання МЗ якості продукції на етапі виготовлення

Як показують дослідження [10, 17–21], цю проблему доцільно вирішувати так:

- врахуванням властивості метрологічної автономності реальних систем вимірювань, які склалися у конкретному технологічному процесі;
- створенням спеціалізованих багатофункціональних калібраторів промислового застосування.

Необхідність використання властивості автономності ґрунтується та тому факті, що в умовах виробництва часто утворюються сукупності ЗВТ, які налагоджуються на використовуються тільки в цьому технологічному процесі. Ці сукупності ЗВТ мають властивості локальності та автономності, що забезпечує врахування їх індивідуальних метрологічних властивостей з метою підвищення якості вимірювань.

При цьому важливо забезпечити можливість оперативного визначення, запам'ятовування та врахування індивідуальних метрологічних характеристик під час вимірювання режимів технологічних процесів та показників якості продукції.

Аналіз [10, 21–23] показав, що практичну реалізацію процесу передачі розмірів величин на етапі виготовлення продукції доцільно здійснювати з використанням спеціалізованих калібраторів, метрологічні характеристики та функціональні можливості яких раціонально погоджені із метрологічними вимогами виробничих процесів.

Необхідно враховувати, що передавання розмірів фізичних величин на етапі виготовлення продукції має такі особливості:

- передавання розміру величини доцільно здійснювати на місці експлуатації ЗВТ;
- необхідно забезпечити контроль та врахування дії впливних факторів на результати передавання розміру фізичної величини;
- передавання розміру доцільно здійснювати у точці діапазону вимірювання, яка відповідає номінальному значенню контрольованого технологічного параметра, що ставить відповідні вимоги до дискретності відтворення еталона.

Важливим завданням МЗ якості продукції є забезпечення необхідної точності вимірювань і контролю. Дослідження показують, що в умовах жорсткої конкуренції для забезпечення якості продукції питання необхідної точності вирішується так: забезпечення достатньої точності за мінімальних витрат. Оскільки основною вимогою до забезпечення якості продукції є вимога врахування зацікавлень споживача, то необ-

хідну точність вибирають на основі мінімізації ризиків споживача, за законодавчо регламентованої вірогідності контролю.

Як показано в [2], щоб виконати завдання забезпечення необхідної точності вимірювань в процесі МЗ якості продукції на етапі виготовлення, потрібно вирішити питання:

- вдосконалення методів оперативного бездемонтажного контролю метрологічних характеристик ЗВТ, що дасть змогу оперативніше та обґрунтованіше коригувати міжкалібрувальні інтервали;
- розробити алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ;
- розробити методи комбінованого оцінювання якості продукції за результатами вимірювань параметрів технологічного процесу та показників якості продукції.

Вирішення вказаних питань забезпечить оперативний моніторинг процесів вимірювань і контролю та підвищить ефективність і результативність метрологічної діяльності на підприємстві.

Ефективність вимірювань у процесі виготовлення продукції визначається співвідношенням витрат на забезпечення необхідної точності вимірювань та втрат від неточності вимірювань. Результати досліджень зв'язку співвідношення витрат на забезпечення необхідної точності вимірювань та втрат від неточності вимірювань [24, 25] дають підстави стверджувати, що ефективність промислових вимірювань великою мірою визначається ефективністю їх МЗ.

Однак на шляху підвищення ефективності промислових вимірювань є невирішені проблеми. Дослідження [5] показали, що негативний вплив МЗ на якість продукції визначається передусім низьким рівнем організаційної та нормативної складових, тобто містить значну суб'єктивну складову: низька кваліфікація персоналу та відсутність методик виконання вимірювань (46 %), низький рівень метрологічної експертизи (22 %) та невідповідний стан вимірювань на підприємстві (21 %). Це спонукає до висновку, що сьогодні занадто мало уваги приділяється питанням нормативно-методичного вдосконалення МЗ та питанню підвищення кваліфікації персоналу, а вирішення питання забезпечення метрологічної досконалості промислових ЗВТ та процесів контролю параметрів технологічних процесів ще не досягло належного рівня.

Тому, щоб забезпечити ефективність вимірювань у процесі виготовлення продукції, необхідно вирішити такі науково-методичні завдання:



Рис. 2. Структура ознак метрологічного забезпечення якості продукції на етапі виготовлення

– систематизувати вимоги до МЗ як складної організаційно-технічної системи, основною метою якої є забезпечення необхідної якості продукції;

– розробити систему показників якості функціонування системи МЗ та методики оцінювання її відповідності за показниками результативності та ефективності;

– розвинути теорію метрологічного ризику як основного елемента оцінювання ризиків виробника та споживача від невідповідності контролю.

Аналіз наведених вище основних завдань дає змогу визначити основну мету МЗ якості продукції як забезпечення якості та ефективності вимірювань на етапі виготовлення продукції. Такий підхід до організації метрологічної діяльності на підприємстві дає можливість:

по-перше, встановити раціональний зв'язок системи МЗ на підприємстві з вимогами державної системи забезпечення єдності вимірювань;

по-друге, ефективно інтегрувати елементи МЗ в систему управління якістю підприємства.

Для ефективного управління МЗ важливо створити умови ідентифікації його елементів при організації метрологічної діяльності на етапі виготовлення продукції. Для створення умов ідентифікації елементів МЗ доцільно виділити його основні ознаки. На підставі визначення МЗ, наведеного на рис. 1, його основні ознаки можна подати у такому вигляді, як на рис. 2. Перша ознака «метрологічна діяльність» – організаційна складова взаємодії метрологічної служби із виробництвом з метою його метрологічного забезпечення – характеризує важливість МЗ для забез-

печення якості продукції та ступінь інтегрування метрологічних елементів у нормативне забезпечення СУЯ підприємства.

Друга ознака «забезпечення» – регулярний процес встановлення та дотримання метрологічних вимог та правил під час виготовлення продукції – визначає наявність у МЗ постійних та циклічних процесів забезпечення метрологічної діяльності та уможливорює оперативне оцінювання якості вимірювань.

Третя ознака «необхідна якість та ефективність вимірювань» – оптимальне поєднання якості та ефективності вимірювань, що зумовлене потребами виробництва, – характеризує поточний стан єдності, точності та ефективності вимірювань, та є важливим елементом упровадження коригувальних дій у процесі здійснення МЗ.

Оскільки у систему МЗ виробничих процесів входить велика кількість метрологічних елементів (ЗВТ, методики виконання вимірювань, діяльність із забезпечення кваліфікації персоналу, база нормативних документів), то ідентифікація елементів МЗ за запропонованими ознаками дасть змогу створити систему формалізації метрологічної діяльності на етапі виготовлення продукції та раціонально її інтегрувати в нормативне забезпечення СУЯ підприємства.

Висновки. Проведені дослідження дають підстави стверджувати, що в сучасних умовах раціональним способом покращення метрологічної діяльності на етапі виготовлення продукції є вдосконалення процесів забезпечення якості та ефективності вимірювань. Для реалізації такого підходу важливо скерувати МЗ

якості продукції на вирішення трьох основних завдань: забезпечення єдності вимірювань, точності вимірювань та ефективності вимірювань.

Ідентифікацію елементів МЗ доцільно виконувати на основі запропонованих ознак, що сприятиме систематизації планування та здійснення метрологічної діяльності на підприємстві, а також раціональному інтегруванню метрологічної діяльності в СУЯ.

Реалізація запропонованого підходу до визначення основних завдань та ознак МЗ якості продукції дасть змогу забезпечити оперативний моніторинг процесів вимірювань і контролю, підвищить ефективність і результативність метрологічної діяльності на підприємстві та сприятиме впровадженню положень перспективних систем ризик-менеджменту для мінімізації втрат якості продукції на етапі виготовлення.

1. Храменков А.В. Метод оценки соответствия метрологического обеспечения предприятия при сертификации его системы менеджмента качества: дисс. канд. техн. наук // А.В. Храменков. – М., 2010 – 135 с. 2. Микийчук М.М. Метрологічне забезпечення якості продукції на стадії виготовлення: дис. д-ра техн. наук // М.М. Микийчук. – Львів, 2012. – 292 с. 3. Марков Б.Ф. Основные направления развития государственной метрологической системы / Б.Ф. Марков, Г.С.Сидоренко // Український метрологічний журнал. – 2008. – № 3 – С. 7–11. 4. ДСТУ ISO 9001:2008 Системи управління якістю. Вимоги. – Введ. в дію 2009-04-01. – К.: Держстандарт. 2009 – 39 с. 5. Бесфамильная Л.В. Экономика стандартизации, метрологии и качества продукции / Л.В. Бесфамильная, В.И. Резчиков, Л.Г. Соколова, В.А. Швандар. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 312 с. 6. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений и других технических средств, имеющих точностные характеристики: дисс.д-ра техн. наук // А.Э. Фридман. – М., 1994 – 423 с. 7. Камінський В.Ю. Методологія синтезу автономної системи метрологічного забезпечення атомних електростанцій / В.Ю. Камінський, К.М. Маловик // Загальнонаукові і спеціальні дослідження: зб. наук. пр. СХУЯЕтаП. – 2010. – С. 161–168. 8. Микийчук М.М. Систематизація вимог до метрологічного забезпечення виробництва / М.М. Микийчук, П.Г. Столярчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 2/10 (50). – С. 49–52. 9. Микийчук М.М. Узагальнена математична модель ефективності системи метро-

логічного забезпечення виробництва / М.М. Микийчук, П.Г. Столярчук // Український метрологічний журнал. – 2011. – № 4. – С. 3–7. 10. Микийчук М.М. Прогнозування похибок промислових засобів вимірювання температури / М.М. Микийчук, Р.М. Огірко, Т.Г. Бойко / Автоматика, вимірювання та керування: Вісник НУ "Львівська політехніка". – 2004. – № 500. – С. 36–40. 11. Огірко Р.М. Принципи побудови універсальних вимірювальних засобів автоматизації технологічних процесів / Р.М. Огірко, М.М. Микийчук // Вимірювальна техніка і метрологія. – Львів, 2002. № 59. – С.145–156. 12. Микийчук М.М. Підвищення метрологічної автономності промислових вимірювань / М.М. Микийчук, П.Г. Столярчук // Метрологія та прилади. – Харків, 2011. – № 3 – С.43–47. 13. Микийчук М.М. Підвищення метрологічної автономності локальних систем вимірювань / М.М. Микийчук, П.Г. Столярчук // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – 2011. – Вип. 1 (27). – С.222–225. 14. Типове положення про метрологічні служби органів виконавчої влади, органів управління об'єднань підприємств, підприємств та організацій. Наказ Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики № 53 від 28 лютого 2005 р. 15. Балалаев В.А. Теория систем воспроизведения единиц и передачи их размеров: учеб. пособ. / В.А. Балалаев, В.А. Слаев, А.И. Сняк / под ред. В.А. Слаева. — СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. — 160 с. 16. Огірко Р.М. Бездемонтажний контроль метрологічних характеристик промислових засобів вимірювання / Р.М. Огірко // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2002. – № 60. – С. 73–86. 17. Микийчук М.М. Актуальні питання метрологічної надійності промислових ЗВТ / М.М. Микийчук // Методи та прилади контролю якості: наук.-техн. журнал Івано-Франківського національного технічного університету нафти та газу. – 2009. – № 23 – С. 126–129. 18. Микийчук М.М. Підвищення метрологічної автономності локальних систем вимірювань / М.М. Микийчук, П.Г. Столярчук // Зб. наук. пр. Харківського університету повітряних сил. – 2011. – Вип. 1 (27). – С.222–225. 19. Конюхов А.Г. Автоматизация поверки: старые подходы и перспективные принципы / А.Г. Конюхов // Измерительная техника. – 1987. – № 11. – С.14–15. 20. Микийчук М.М. Дослідження структур активних імітаторів опору як основи промислових калібраторів / М.М. Микийчук // Вимірювальна техніка і метрологія. – Львів. – 2010. –

№ 71. – С.33–38. 21. Микийчук М.М. Оптимізація метрологічних характеристик активних імітаторів опор / М.М. Микийчук // Методи та прилади контролю якості: наук.-техн. журнал Івано-Франківського національного технічного університету нафти та газу. – 2010. – № 24 – С. 120–123. 22. Микийчук М.М. Шляхи побудови багатозначних мір опору для перевірки теплотехнічних засобів вимірювань / М.М. Микийчук, Р.М. Огірко // Автоматика, вимірювання та керування. Вісник Державного університету "Львівська політехніка". – 1998. – № 348. – С. 42–48. 23. Микийчук М.М. Особливості побудови калібраторів для пе-

ревірки засобів вимірювання і контролю параметрів технологічних процесів / М.М. Микийчук, Р.М. Огірко // Автоматика, вимірювання та керування. Вісник Державного університету "Львівська політехніка". – 1998. – № 348. – С. 23–29. 24. Крюков О.М. Основи метрологічного забезпечення: навч. посіб. / О.М. Крюков, О.П. Флорін //– Харків: ХНАДУ, – 2010. – С. 208. 25. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Основные положения: МИ 2233-2000. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 19 с.

УДК 621.317

АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

© Микийчук Микола, 2013

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
вул. С. Бандери 12, м. Львів, 79013,
тел. (032)-258-23-94, e-mail: mykolamm@ukr.net

Розроблено алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки, що дає змогу оперативно коригувати міжкалібрувальні інтервали.

Разработан алгоритм оценивания индивидуальной метрологической надежности средств измерительной техники, что позволяет оперативно корректировать межкалибровочные интервалы.

The algorithm of evaluation of individual metrology reliability of facilities of measuring technique is developed, that allows operatively to correct intergauge intervals.

Актуальність. Одним з основних факторів, що визначає якість засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) промислового застосування, є наявність ефективних методів оцінювання їх метрологічної надійності [1]. Останніми роками помітнішою стає неефективність прийнятих традиційних методів контролю похибок промислових ЗВТ. Це пояснюється специфікою застосування промислових ЗВТ, яка полягає в тому, що вони експлуатуються в умовах, відмінних від умов їх метрологічної перевірки, внаслідок чого виникає ряд додаткових похибок. Додаткові похибки від зміни умов експлуатації ЗВТ, відносно умов метрологічної перевірки, важко оцінювати, оскільки ці похибки нормуються для типу ЗВТ і не враховують їх індивідуальну стабільність.

Оцінка сумарної інструментальної похибки, в конкретних умовах застосування, визначається як сума

основної та додаткових похибок, пронормованих для типу ЗВТ, без урахування метрологічного запасу та напряму дрейфу похибки, який має конкретний ЗВТ [2, 3]. Тому часто метрологічно справний ЗВТ вилучають із технологічного процесу для здійснення його метрологічної перевірки або метрологічно несправний ЗВТ продовжують експлуатувати, що і в першому, і другому випадку спричиняє невиправдані витрати [4–6].

Тому питання правильного оцінювання метрологічної надійності ЗВТ є важливою умовою забезпечення якості сучасних технологічних процесів.

Стан проблеми. Основою загальноприйнятого підходу гарантування метрологічної надійності ЗВТ є призначення одного міжкалібрувального інтервалу для всіх ЗВТ одного типу розв'язанням задачі оптимізації

міжкалібрувального інтервалу за критерієм мінімізації сукупних витрат [6]:

- на перевірку і вимушений простій ЗВТ (спонукаючи до збільшення міжкалібрувального інтервалу);
- від невірогідних результатів вимірювань (спонукаючи до зменшення міжкалібрувального інтервалу).

На жаль, початкових даних для коректного й однозначного вирішення цього завдання зазвичай недостатньо. Так, відповідно до РМГ 74 рекомендується використовувати залежність середніх економічних втрат від похибок ЗВТ. Але де узяти таку залежність для більшості типів ЗВТ, за умови, що різні екземпляри ЗВТ того самого типу можуть використовуватися для різних цілей, а тому наслідки невірогідних результатів вимірювань, виконаних за допомогою таких ЗВТ, можуть відрізнятися в тисячі разів [6].

Стан метрологічної надійності ЗВТ визначається стабільністю його функції перетворення. Традиційні методи оцінювання метрологічної надійності ЗВТ ґрунтуються на визначенні ймовірності виходу похибки за допустимі межі, які встановлюються під час нормування класу точності для типу ЗВТ [2], причому оптимізація процесу нормування класів точності повинна базуватися на відповідному техніко-економічному обґрунтуванні, що в умовах ринкової економіки реалізувати важко. Основний недолік прийнятих підходів до оцінювання метрологічної надійності промислових ЗВТ полягає у відсутності нормативного та методичного забезпечення для об'єктивного встановлення та нормування показників метрологічної надійності для конкретного ЗВТ. Це, зокрема, виражається у застосуванні узагальнених показників метрологічної надійності встановленням однакових інтервалів між метрологічними перевірками для ЗВТ, які мають різну метрологічну надійність, наприклад, через відмінність умов експлуатації.

Також зберігається практика застосування класичної теорії надійності для оцінювання метрологічної надійності ЗВТ, хоча науково доведено [7–9] її неадекватність. Зокрема, єдиним справедливим висновком класичної теорії надійності для метрологічних відмов є припущення про її випадковий характер [4]. Застосування як моделі дрейфу похибки ЗВТ процесу з одномірним нормальним законом розподілу призводить до методично неправильних результатів [4], коли ймовірність метрологічної відмови може мати від'ємне значення.

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 похибки в реальних умовах експлуатації та оцінювання показників метрологічної надійності конкретних промислових ЗВТ є гострою потребою підвищення якості вимірювальних процесів у сучасних виробництвах.

Постановка задачі. Для підвищення об'єктивності встановлення міжкалібрувальних інтервалів необхідно розробити алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ.

Алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності засобів вимірювань промислового застосування. У метрологічній практиці для нормування метрологічної надійності ЗВТ використовують такі показники [10, 11]:

- $P_{MC}(t)$ – ймовірність метрологічної справності ЗВТ, дорівнює ймовірності того, що в заданий момент часу t ЗВТ виявиться метрологічно справним;
- $K_{MC}(t)$ – коефіцієнт метрологічної справності, дорівнює середній частці міжкалібрувального інтервалу, впродовж якого ЗВТ перебуває в метрологічно справному стані;
- $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи, дорівнює ймовірності того, що впродовж заданого часу експлуатації метрологічна відмова не виникне.

Такий підхід до встановлення показників метрологічної надійності є наслідком нормування метрологічної надійності для типу ЗВТ, коли за результатами досліджень великої кількості однотипних ЗВТ знаходять усереднені показники метрологічної надійності, що не сприяє об'єктивному нормуванню індивідуальних показників метрологічної надійності. Для оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ необхідно вибирати характеристики, які можуть відображати значення та дрейфові властивості реальної похибки ЗВТ.

Аналізуючи похибки під час експлуатації ЗВТ, зміну похибки представляють у вигляді стаціонарного випадкового процесу $D(t)$ зі сталим законом розподілу. При цьому задача аналізу зводиться до пошуку виду цього закону розподілу [1, 2, 4]. За таких умов метрологічно справний стан ЗВТ зберігається до того

моменту, доки миттєве значення випадкового процесу зміни похибки залишається в межах допустимого інтервалу зміни похибки $[-D_{\text{доп}}, +D_{\text{доп}}]$, а вихід випадкового процесу $D(t)$ за ці межі класифікується як метрологічна відмова.

Неоптимальність такої моделі пояснюється тим, що ймовірність виходу випадкового процесу за межі $\pm D_{\text{доп}}$ однакова, як в початковий момент його експлуатації, так і через певний відрізок часу. Тобто для такої моделі зміни похибки час між метрологічними відмовами сталий, що і покладено в основу рівномірних міжперевірювальних інтервалів.

Як показують дослідження [2, 4], впродовж періоду експлуатації ЗВТ є три основні етапи зміни його метрологічної стабільності. Протягом першого етапу істотно зростає ймовірність виходу похибки за встановлені межі, що зумовлено стабілізацією характеристик елементів. Другий етап характеризується високою стабільністю і відповідно низькою ймовірністю метрологічної відмови. Як правило, цей період триває від 3-го до 7-го року експлуатації [1, 2]. Третій етап характеризується значним зростанням похибки, часто у кілька разів, що є наслідком деградаційних процесів у елементах ЗВТ [1, 4].

Одним із основних недоліків традиційного нормування класу точності у вигляді симетричних, відносно нуля, допустимих меж зміни похибки полягає в тому, що такий стан не відповідає реальній практиці експлуатації ЗВТ. На початку експлуатації кожен конкретний ЗВТ володіє індивідуальними значеннями похибки та напрямом її часового дрейфу. Як показали дослідження, проведені в [2], для 75 % ЗВТ дрейф похибки відбувається до ближньої допустимої межі. Тому час до метрологічної відмови визначається метрологічним запасом (відстань реальної похибки від допустимої межі) та швидкістю дрейфу похибки.

Сьогодні відсутні науково доведені моделі дрейфу похибки ЗВТ з властивістю універсальності стосовно більшості ЗВТ [2, 4], тому основним шляхом забезпечення метрологічної справності ЗВТ упродовж міжкалібрувального інтервалу є встановлення значення реальної похибки на рівні 0,4...0,8 від допустимого значення. За такої практики метрологічна надійність конкретного ЗВТ визначається значенням метрологічного запасу похибки та стабільністю цього ЗВТ у кожен момент його експлуатації.

Враховуючи цю обставину, для підвищення об'єктивності нормування індивідуальної метрологічної

надійності доцільно нормувати похибку ЗВТ промислового застосування у вигляді систематичної похибки – $\Delta_{\text{доп}} = \Theta(0)$. Це дасть змогу представити метрологічний запас ЗВТ в окремій точці діапазону вимірювання відносним показником – коефіцієнтом метрологічного запасу – K_m :

$$K_m = \frac{\Delta_{\text{доп}} - \Delta}{\Delta_{\text{доп}}}, \quad (1)$$

де Δ – значення похибки ЗВТ; $\Delta_{\text{доп}}$ – допустиме значення похибки ЗВТ.

Перспективність застосування коефіцієнта метрологічного запасу – K_m для оцінювання метрологічної надійності ЗВТ розглянуто в [12]. Для створення умов оперативного коригування міжкалібрувальних інтервалів конкретних ЗВТ необхідно враховувати показники їх метрологічної стабільності. Наведені в [2] результати досліджень часових змін похибок для окремих ЗВТ показали, що для отримання вірогідних оцінок необхідні дані за 3–6 років. Очевидно, що традиційний підхід до оцінювання метрологічної надійності стає ефективним в кінці експлуатації ЗВТ.

Дослідження [3] показують, що для підвищення оперативності проведення робіт із коригування міжкалібрувальних інтервалів доцільно використовувати такий показник, як частота метрологічних відмов для груп однотипних ЗВТ – w . Оскільки в багатьох технологічних процесах експлуатуються групи однотипних ЗВТ, то за результатами оперативного контролю їх похибки можна впродовж одного року визначити середню частоту метрологічних відмов для груп однотипних ЗВТ.

Аналіз результатів експериментальних досліджень характеру метрологічних відмов [2] дав змогу визначити та узагальнити межі зміни частоти метрологічних відмов та її прискорення для різних видів ЗВТ. Результати аналізу зміни частоти метрологічних відмов та її прискорення для різних видів ЗВТ наведено у таблиці.

Оскільки дані, наведені в [2], отримані в умовах калібрувальних лабораторій, то можна очікувати, що для реальних умов застосування частота метрологічних відмов є значно вищою через негативний вплив реальних умов експлуатації ЗВТ.

Впровадження методів оперативного контролю похибок ЗВТ в умовах їх експлуатації відкриває широкі можливості використання методів прогнозування метрологічної надійності конкретних ЗВТ з використанням простих лінійних моделей.

Частота та прискорення метрологічних відмов для різних видів ЗВТ

Вид ЗВТ	Аналогові	Електронні	Цифрові
Частота метрологічних відмов, w , 1/рік	0,18...0,23	0,38...0,45	0,27...0,39
Прискорення частоти метрологічних відмов, a_w , 1/рік	0,03...0,07	0,06...0,11	0,05...0,12

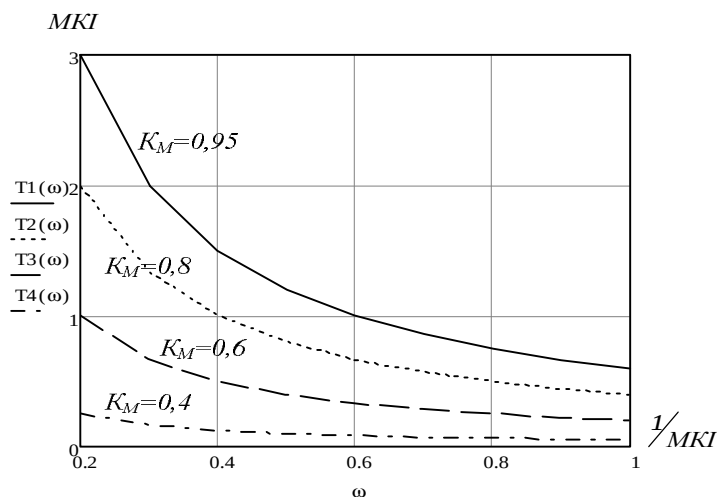


Рис. 1. Час до відмови T від зміни частоти метрологічних відмов w_M для значень $K_M=0,4; 0,6; 0,8; 0,95$

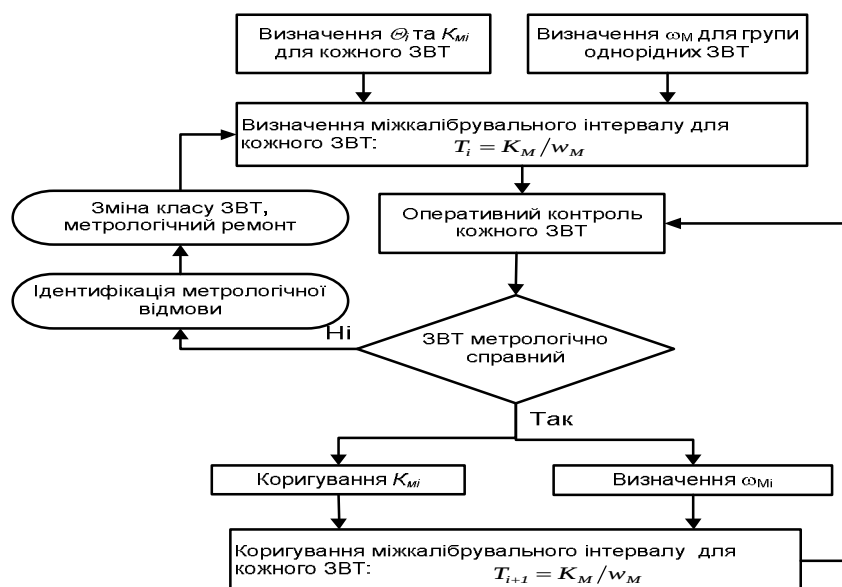


Рис. 2. Алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ

Період до метрологічної відмови, залежно від значення K_M та частоти метрологічних відмов w_M , можна подати виразом:

$$T = \frac{K_M}{w_M}, \quad (2)$$

де w_M — частота метрологічних відмов.

Як видно з (2), для забезпечення умови розширення міжкалібрувальних інтервалів необхідно збільшувати коефіцієнт метрологічного запасу та зменшувати частоту метрологічних відмов. Ці задачі взаємно пов'язані і мають розв'язуватись підвищенням рівня організаційної та технічної складової метрологічного забезпечення виробництва.

На рис. 1 представлено результати моделювання залежності часу до метрологічної відмови T в одиницях міжкалібрувальних інтервалів від зміни мінімальної частоти метрологічних відмов w_M для різних значень коефіцієнта метрологічного запасу K_M .

Як видно із рис. 1, недоцільно забезпечувати мінімальну частоту метрологічних відмов $w_M \leq 0,2$, оскільки велика ймовірність втрати метрологічної справності ЗВТ до закінчення міжкалібрувального інтервалу.

За умови широкого впровадження методів оперативного контролю похибки ЗВТ перспективним шляхом підвищення надійності результатів вимірювань на етапі виготовлення продукції є впровадження методу оперативного коригування міжкалібрувальних інтервалів. Суть такого методу полягає в тому, що за результатами оперативного контролю похибок ЗВТ визначають їх реальні систематичні похибки – Θ_i та оцінюють індивідуальний коефіцієнт метрологічного запасу – K_{mi} . За результатами експлуатації у цьому технологічному процесі однотипних ЗВТ оцінюють частоту метрологічних відмов w_M цих ЗВТ. Доцільність такого підходу до оцінювання частоти метрологічних відмов підтверджується доведеною у [2] систематичністю впливу умов експлуатації ЗВТ на їх похибку.

Для реалізації методу оперативного коригування міжкалібрувальних інтервалів доцільно використовувати такий алгоритм коригування міжкалібрувальних інтервалів.

Застосування запропонованого алгоритму для оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ має таку позитивну особливість, що дає змогу оцінювати метрологічну надійність конкретного ЗВТ без проведення багаторічних метрологічних досліджень, особливо якщо взяти до уваги твердження, висунуті у відомих наукових дослідженнях [2, 4].

Для підвищення ефективності робіт із оперативного моніторингу метрологічної надійності ЗВТ на різних етапах їх експлуатації доцільно здійснювати їх групування за рівнем їх метрологічної стабільності. Аналіз результатів експериментальних досліджень довготривалої стабільності ЗВТ показав, що для однотипних ЗВТ розкид часової стабільності може змінюватися у широких межах – $(0,05...0,5) D_{доп}$ [2]. Тому доцільно здійснювати ранжування ЗВТ промислового застосування за стабільністю на три категорії: високої стабільності, середньої стабільності та низької стабільності. Можна запропонувати такі умови поділу ЗВТ на категорії за стабільністю:

високої стабільності – $\Delta_{II} = (0...0,1) \cdot \Theta$;

середньої стабільності – $\Delta_{II} = (0,1...0,3) \cdot \Theta$;

низької стабільності – $\Delta_{II} = (0,3...0,7) \cdot \Theta$.

Застосування запропонованого алгоритму оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ дасть змогу підвищити оперативність та об'єктивність виявлення метрологічних відмов, а також мінімізувати втрати виробництва від прихованих метрологічних відмов.

Висновки. Оскільки важливим елементом забезпечення якості вимірювань у промисловості є забезпечення метрологічної надійності ЗВТ, то необхідно впроваджувати в метрологічну практику методи оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ. Впровадження методів оперативного контролю похибок ЗВТ в умовах їх експлуатації відкриває широкі можливості використання методів прогнозування метрологічної надійності конкретних ЗВТ з використанням простих лінійних моделей. Поки що відсутні науково доведені моделі дрейфу похибки ЗВТ, які володіють властивістю універсальності, тому основним способом забезпечення метрологічної справності ЗВТ під час їх експлуатації є впровадження алгоритмів оцінювання їх метрологічної надійності. Розроблено алгоритм оцінювання метрологічної надійності ЗВТ на основі коефіцієнта метрологічного запасу та середньої частоти метрологічних відмов однотипних ЗВТ, що створює додаткові можливості оперативного виявлення метрологічних відмов та забезпечує підвищення обґрунтованості встановлення міжкалібрувальних інтервалів.

Показано доцільність ранжування засобів вимірювань промислового застосування за стабільністю на три категорії: високої, середньої та низької стабільності, що створює додаткові можливості підвищення ефективності вимірювань на етапі виготовлення продукції.

1. Екимов А.В. *Надёжность средств электроизмерительной техники* / А.В. Екимов, М.И. Ревяков. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 320 с. 2. Новицкий П.В. *Динамика погрешностей средств измерений* / П.В. Новицкий, И.А. Зограф, В.С. Лабунец. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 192. 3. Микийчук М.М. *Метрологічне забезпечення якості продукції на стадії виготовлення: дис. д-ра техн. наук* / М.М. Микийчук. – Львів, 2012. – С. 292. 4. Фридман А.Э. *Теория метрологической надежности средств измерений и других технических средств, имеющих точностные характеристики: дисс. д-ра*

техн. наук / А.Э. Фридман. – М., 1994 – С. 423. 5. Данилевич С.Б. Метрологическое обеспечение производства и качество продукции / С.Б. Данилевич, С.С. Колесников // Законодательная и прикладная метрология. — 2007. — № 2. — С. 6–9. 6. Данилов Е.А. Хорош ли продолжительный межповерочный интервал для теплосчётчиков при расширенном диапазоне измерения расхода / А.Е. Данилов, И.Н. Бригаденко, Г.Н. Иванова, Е.Ю. Парамонова // Энергосбережение, 2003, №5 – С. 17. 7. Конюхов А.Г. Автоматизация поверки: старые подходы и перспективные принципы / А.Г. Конюхов // Измерительная техника. – 1987. – № 11. – С. 14–15. 8. Микийчук М.М. Засоби повірки вторинних пристроїв контактної термометрії на основі активних імітаторів опору: автореф.

дис. д-ра техн. наук / М.М. Микийчук. – Львів, 1998. 9. Яцук В.О. Розвиток теорії та методів підвищення якості засобів вимірювальної техніки з використанням кодированих мір: автореф. дис. д-ра техн. наук / В.О. Яцук. – Львів, 2004. 10. РМГ 74-2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. 11. ГОСТ 8.565-99. ГСИ. Порядок установления и корректировки межповерочных интервалов эталонов. 12. Микийчук М.М. Актуальні питання метрологічної надійності промислових ЗВТ / М.М. Микийчук // Методи та прилади контролю якості: наук.-техн. журнал Івано-Франківського національного технічного університету нафти та газу. – 2009. – № 23. – С. 126–129.

УДК 621.311.13

НОВІ НОРМАТИВНІ ВИМОГИ СТОСОВНО ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

О Ванько Володимир, Феицук Наталія, 2013

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Проаналізовано проблематику дослідження та контролю якості електроенергії у мережах постачання споживачів. Поставлено головні задачі, котрі полягають у встановленні причин погіршення якості електроенергії та визначенні місця появи негативного процесу в мережі. З урахуванням класифікації видів навантажень та споживання ними електроенергії запропоновано розвиток методики виконання вимірювань показників якості електроенергії та нові показники, що дають змогу отримати додаткову інформацію для розв’язання вказаних задач.

Проанализировано проблематику исследования и контроля качества электроэнергии в сетях снабжения потребителей. Поставлены главные задачи, которые состоят в определении причин ухудшения качества электроэнергии и нахождении места возникновения негативного процесса в сети. Исходя из классификации видов нагрузок и потребления ими электроэнергии, предложены развитие методики выполнения измерений показателей качества электроэнергии и новые показатели, позволяющие получить дополнительную информацию для разрешения указанных задач.

The analysis of the problems of research and quality control of electricity supply to customers in the networks. Delivered the main tasks are to identify the causes of deterioration of power quality and location of the place of occurrence of the negative processes in the network. Based on the classification of types of loads and their consumption of electricity, proposed the development of a method of measuring the quality of electricity and new indicators to get more information to resolve these problems.

Вступ. Електричну енергію (ЕЕ) зараховують до важливого виду енергетичних ресурсів, за допомогою якого здійснюються виробничі процеси у промис-

ловості та аграрному секторі, діяльність у туристичній галузі й спорті, а також забезпечуються побутові та культурні потреби людства. Враховуючи масовий

характер застосування, стосовно ЕЕ декларуються відповідні нормативні вимоги з якості, що наведені в [1]. При цьому варто зазначити, що завдання забезпечення якості ЕЕ та гарантування її показників якості (ПЯ) в межах нормально і гранично допустимих значень є комплексною проблемою, тобто потребує не лише розвитку теорії вимірювання ПЯ ЕЕ, але й вдосконалення нормативно-технічного забезпечення цих вимірювань. Останнє полягає у формуванні оптимальної номенклатури ПЯ ЕЕ та обґрунтованих вимог стосовно граничних значень для сукупності ПЯ, дотримання яких гарантуватиме надійну та продуктивну роботу різноманітного устаткування.

Постановка задачі та аналіз проблематики.

Відповідно до [1, 2] множину ПЯ ЕЕ, що описують негативні процеси в електричних мережах, поділяють на такі групи: повільних коливань напруги і частоти (ПКНЧ), несинусоїдальності напруг (НСН), несиметрії трифазної системи напруг (НТСН), характеристик потужностей споживання (активної, реактивної, повної) (ХПС), тимчасових перенапруг та западин напруги (ТПЗН), імпульсних спотворень форми напруги (ІСФН). Але, поряд з цим, з метою ефективного управління якістю ЕЕ за даними [3], вважається необхідним:

- встановлення причини виникнення погіршення якості ЕЕ;
- визначення місця появи негативного процесу в мережі для його усунення або послаблення дії.

Жоден ПЯ ЕЕ з наведених груп не може слугувати інформативним джерелом, яке дало б змогу безпосередньо розв'язати поставлені задачі. Крім того, у чинній нормативній документації не наведено шляхи підвищення якості ЕЕ та рекомендації з недопущення виникнення відомих негативних процесів у мережах.

Мета досліджень. Розглянемо способи вирішення цієї проблематики. Першочерговим завданням вважається потреба вдосконалення нормативно-технічної бази з моніторингу та управління якістю ЕЕ для гарантування ефективної роботи різноманітного устаткування. По-друге, актуальним є пошук нових підходів з аналізу реальних ситуацій з обміну ЕЕ між початковими об'єктами та структурами споживання, що дасть змогу встановити причину погіршення якості ЕЕ.

Напрями розв'язання задачі. Якщо розглянути сукупність відомих електричних навантажень, що

використовують споживачі, то, з одного боку, їх надійна та ефективна робота визначається різними групами ПЯ ЕЕ, а з іншого боку – кожен вид навантаження може певним способом змінювати рівень якості ЕЕ у досліджуваній мережі. Враховуючи специфіку функціонування електронного та електротехнічного устаткування, виокремимо серед них такі види навантажень (з наведенням щодо кожного виду відповідних груп ПЯ ЕЕ, що характеризують негативні для них збурення), для яких мають бути наведені необхідні нормально і гранично допустимі норми щодо напруг живлення:

- освітлення (ПКНЧ, ТПЗН);
- електротранспорт (ПКНЧ, НСН, ХПС, ТПЗН, ІСФН);
- устаткування для виробництва (інструменти, верстати, системи управління технологічними процесами, протиаварійні та охоронні системи) (ПКНЧ, НСН, НТСН, ХПС, ТПЗН, ІСФН);
- устаткування для наукових, медичних і контрольних досліджень (ПКНЧ, НСН, ТПЗН, ІСФН);
- устаткування для побуту, туризму та спорту (ПКНЧ, НСН, ТПЗН, ІСФН).

Як бачимо, для переважної більшості електронного та електротехнічного устаткування доцільно контролювати якість ЕЕ, використовуючи одночасно більшу частину наведених вище груп ПЯ. Тобто найчастіше неможливо чітко вибрати одну чи дві, специфічні лише для певного варіанта навантаження групи ПЯ ЕЕ. Крім того, неправильна робота конкретного виду навантаження споживача сприятиме виникненню характерних для нього збурень напруг або струмів у мережі, котрі не завжди описуватимуться ПЯ ЕЕ з наведених груп.

Одним з допоміжних важливих ПЯ ЕЕ може бути часова залежність струму споживання конкретного виду навантаження, яка здебільшого є його індивідуальною характеристикою.

На рис. 1 показано залежності напруги живлення (ліва ордината) та струму споживання (права ордината) персонального комп'ютера залежно від часу [4].

З наведеної інформації видно, що частину ЕЕ блок живлення комп'ютера перетворює на реактивну енергію, котра марно навантажує мережу і, отже, збільшує втрати ЕЕ – зменшуючи коефіцієнт потужності в електричному колі. Причиною цього негативного явища слугує принцип побудови імпульсного блока живлення персонального комп'ютера.

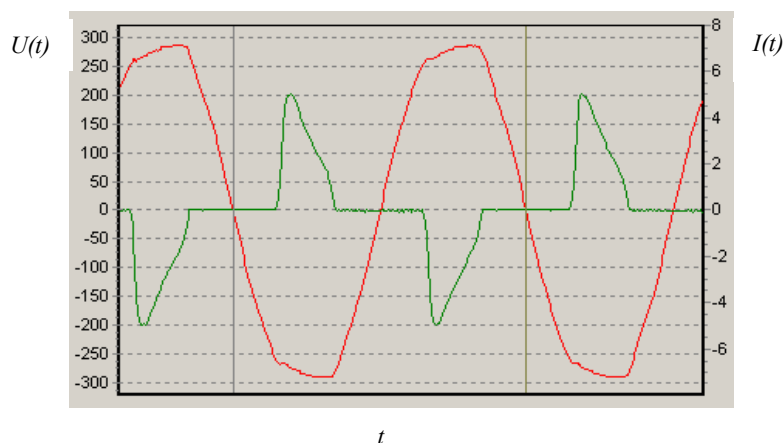


Рис. 1. Залежності напруги живлення та струму споживання персонального комп'ютера залежно від часу

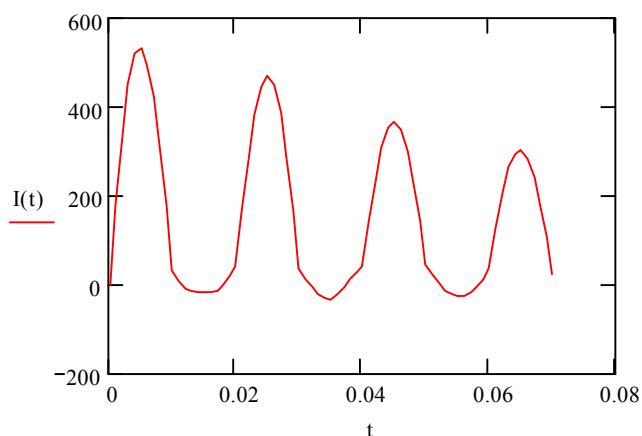


Рис. 2. Осцилограма струму увімкнення для асинхронного двигуна потужністю 500 кВт з номінальною швидкістю обертів 1500 об./хв

Іншим специфічним прикладом навантаження є електричний двигун. За даними [5] осцилограма струму увімкнення (пусковий режим роботи) для асинхронного двигуна потужністю 500 кВт з номінальною швидкістю обертів 1500 об./хв має вигляд, показаний на рис. 2. При цьому, так само як для будь-якого двигуна, після його початкового увімкнення відбувається процес поступового встановлення форми споживаного струму до синусоїдальної кривої та його значення до розрахункових робочих рівнів. Але, як видно з рис. 2, у початковий момент істотно збільшується струм, що може інколи викликати спотворення форми напруги у мережі.

Стосовно устаткування, у якому застосовуються потужні активні нагрівачі, то тут практично зберігаються синусоїдальними струм споживання та напруга мережі. Однак у випадку використання нелінійних активних нагрівачів або інших нелінійних

елементів спостерігаються як зміни спектрального складу струмів і напруг, так і появи втрат ЕЕ, включно через зростання реактивної енергії у мережі.

Очевидно, що будь-якому новому електронному й електротехнічному устаткуванню властиві визначені нормативними документами параметри споживання – середньоквадратичне значення (СКЗ) струму, активна і повна потужності споживання тощо. Інколи до них також зараховують зміну спектра споживання струму (потужності) протягом терміну експлуатації устаткування.

Ще однією причиною спотворення якості ЕЕ вважається різка зміна струмів (потужностей) споживання, викликані, наприклад: зміною кількості одночасно увімкненого устаткування на виробництві (верстатів, електроінструменту, агрегатів, технічних засобів тощо), роботою електротранспорту, функціонуванням електричного металоплавильного виробництва тощо.

Отже, для вдосконалення управління якістю ЕЕ необхідно:

- ввести додаткові ПЯ, які дали б змогу краще аналізувати інформацію, отриману в результаті проведеного вимірювального експерименту на досліджуваному об'єкті;
- скласти методику виконання вимірювального експерименту в контрольованій мережі.

Відповідно до [3, 6, 7] методика виконання вимірювань повинна будуватись так:

- вступна частина та призначення методики;
- перелік нормально і гранично допустимих норм значень ПЯ ЕЕ, які підлягають вимірюванням;
- норми похибок вимірювань для кожного із переліку зазначених ПЯ ЕЕ;
- засоби вимірювань ПЯ ЕЕ та допоміжні пристрої;
- методи вимірювань;
- вимоги до безпеки проведення експерименту;
- вимоги до кваліфікації персоналу;
- умови вимірювань;
- підготування до виконання вимірювань (складання програми вимірювань, визначення точок та тривалості й періодичності проведення моніторингу якості ЕЕ);
- виконання вимірювань;
- опрацювання результатів вимірювань (включно з аналізом рівня якості ЕЕ);
- оформлення результатів вимірювань.

У разі, коли чітко визначено й обґрунтовано рекомендований метод аналізу якості ЕЕ, то дані про це можна додати у зазначену методику окремим розділом.

Одним з важливих розділів методики вважається програма вимірювального експерименту, де зафіксовано точки моніторингу досліджуваної мережі та перелік ПЯ ЕЕ, завдяки якому встановлюють причини погіршення якості ЕЕ та через ввічнення якого виду навантаження вони з'явилися. Точки контролю цієї мережі вибирають на основі аналізу її електричної схеми та завдяки підходу з дослідження якості ЕЕ, викладеному у [3]. Періодичність здійснення моніторингу залежить від специфіки навантаження, що застосовується на виробництві, або регламентується вимогами [1].

З метою отримання допоміжної інформації про якість ЕЕ на досліджуваному об'єкті, крім наведених у [1, 2] основних ПЯ ЕЕ, необхідно використовувати такі додаткові ПЯ:

- амплітудні значення струмів споживання $(I_{cn})_m$ та їхні СКЗ $(I_{cn})_{ск}$ за фазами;
- коефіцієнти спотворення синусоїдальності кривої струму K_{sl} та n -ї гармонічної складової струму K_{ln} , котрі можна об'єднати у групу несинусоїдальності струмів НСС (подібно до НСН);
- фазні коефіцієнти завантаженості по активній (наприклад, для фази А)

$$k_{np} = \frac{P_A}{P_\Sigma}, \quad (1)$$

та реактивній потужностях (теж фази А)

$$k_{nQ} = \frac{Q_A}{Q_\Sigma}, \quad (2)$$

де P_Σ та Q_Σ – значення активної та реактивної потужностей у трифазному колі.

Зауважимо, що для обчислення цих ПЯ ЕЕ немає потреби у створенні нових засобів вимірювання – можна застосовувати прилади з величезного переліку відомих, причому недорогих та з хорошими метрологічними характеристиками. Хоча, з метою автоматизації моніторингу якості ЕЕ, з'являтимуться проблеми з об'єднання різних вимірювачів у вимірювально-інформаційні комплекси, котрі порівняно легко вирішуються за допомогою сучасних програмних і технічних засобів.

Додамо, що запропоновані додаткові ПЯ ЕЕ варто використовувати для опису наведених вище негативних процесів у електричних мережах у вигляді допоміжних даних, за допомогою яких можна розв'язувати поставлені вище задачі.

Висновки. На основі запропонованих вдосконаленої методики виконання вимірювань ПЯ та підходу з моніторингу рівня якості ЕЕ у мережах споживачів можна здійснювати дієві поточний та вибіркового контроль стану як постачання, так і споживання ЕЕ. Це дасть змогу ефективно управляти процесами обміну ЕЕ між вихідним пунктом розподільної мережі та різними ділянками електричної схеми користувача, що забезпечить суттєве зменшення втрат ЕЕ.

Крім того, запровадження цієї методики сприятиме:

- розробленню та затвердженню нових нормативних документів і правових актів із питань регулювання відносин у сфері гарантованого забезпечення підприємств та населення якісною ЕЕ;

– вдосконаленню відомих засобів вимірювання ПЯ ЕЕ та розробленню нових вимірювачів, які стануть основою нормативно-технічного забезпечення якості ЕЕ;

– створенню та застосуванню ефективної системи сертифікації у сфері якості ЕЕ, яка б затверджувала державний контроль за виконанням нормативних вимог.

1. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 01.01.2000. – К.: Держстандарт України, 1999. – 32 с.
2. Ванько В.М., Столярчук П.Г. Проблемы контролю якості електроенергії в електричних мережах // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2001. – № 58. –

С. 47–56. 3. Ванько В.М. Організація вимірювання, аналізу та поліпшення якості електроенергії в мережах // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Теплоенергетика. Інженерія докілья. Автоматизація». – № 659. – 2009. – С. 101–108. 4. Артамонов О. Измерение энергопотребления компьютеров / Компания «Ф-Центр» website [Online]. 2011. – available: <http://www.fcenr.ru/fcconfa/viewforum/>. 5. Пуотровский Л., Васютинский С., Несговорова Е. Испытание электрических машин. – М.–Л.: Государственное энергетическое издательство, 1960. – 290 с. 6. ГОСТ 8.010-99. Методики выполнения измерений. Основные положения. – Введ. 01.01.2000. – М.: Издательство стандартов, 1999. – 25 с. 7. ГОСТ Р 8.563-96. Методики выполнения измерений. – Введ. 01.07.1997. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 20 с.

УДК 658.562

ІНТЕГРОВАНЕ ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЛЯ КВАЛІМЕТРИЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ ПРОДУКЦІЇ

© Бойко Тарас, Мельник Володимир, 2013

Національний університет «Львівська політехніка», кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Запропоновано метод формування показників властивостей продукції з використанням бенчмаркінгу, зворотного інженерного аналізу та розгортання функції якості. Показано, що, використовуючи отриману в результаті бенчмаркінгу інформацію, можна побудувати певний логічний ланцюжок від показників властивостей виробу аж до його складників та виробничих процесів і матеріалів. Розроблена структура дає можливість приймати обґрунтовані рішення щодо покращення окремого чи сукупності показників виробу, що, своєю чергою, забезпечить загальне зростання його якості.

Предложен метод формирования показателей свойств продукции с использованием бенчмаркинга, обратного инженерного анализа и развертывания функции качества. Показано, что, используя полученную в результате бенчмаркинга информацию, можно построить определенную логическую цепочку от показателей свойств изделия вплоть до его составляющих частей, производственных процессов и материалов. Разработанная структура дает возможность принимать обоснованные решения относительно улучшения отдельного или совокупности показателей изделия, которое в свою очередь обеспечит рост в целом его качества.

The method of forming the production property indices by dint of benchmarking, reverse engineering and quality function deployment has been suggested. It is shown that using the gained benchmarking information we could construct a certain logical chain starting from the indices of product properties and finishing with product components, production processes and materials. The developed structure enables us to make stipulated decisions concerning improvement of a certain product index or totality of them which eventually would provide the general rise in quality.

Вступ. Суть бенчмаркінгу, його елементи, доцільність використання, сильні та слабкі сторони. Економічно розвинені країни світової спільноти нині

забезпечують якість організаційно-управлінськими заходами, а саме розробленням, запровадженням, сертифікацією та постійним вдосконаленням систем якості.

Праці видатних вчених ХХ ст. В. Шухарта, У. Е. Демінга, Джозефа М. Джурана (перший ввів поняття «управління якістю»), Ф. Кросбі, К. Ісікави, Арманда В. Фейгенбаума, Г. Тагуті, Т. Сейфі сформували сучасну стратегію якості, що відображена в [1–3] і ґрунтується на застосуванні систем управління якістю (СУЯ). В межах ефективно діючої СУЯ на підприємстві створюються такі умови, щоби продукція не могла бути неякісною.

Зокрема, основним критерієм оцінки СУЯ є наявність процесу постійного поліпшення, що має привести до більшої задоволеності споживача, очевидно через стале поліпшення продукції або, інакше кажучи, зростання її якості. Окрім того, ведеться інтенсивний пошук апарату нових, дієвіших та конкретизованих способів оцінювання та забезпечення якості продукції. Одним з таких способів є бенчмаркінг.

Загалом бенчмаркінг (англ. *Benchmarking*) – процес пошуку стандартного чи еталонного економічно ефективнішого підприємства-конкурента з метою порівняння з власним та переймання найкращих методів роботи. Дослівно бенчмаркінг означає “точка відліку”. Суть сьогодинішнього трактування бенчмаркінгу можна сформулювати як “безупинний систематичний пошук і впровадження найкращих практик, що приведуть організацію до більш досконалої форми” [4]. Тому вважається, що бенчмаркінг – дієвий інструмент для визначення становища вашої компанії порівняно з іншими, подібними за розмірами та/або сферою діяльності, організаціями. Очевидно, що результати бенчмаркінгової діяльності ефективно доповнюватимуть загальну стратегічну лінію підприємства щодо постійного поліпшення.

Об'єктами бенчмаркінгу можуть бути: методи, процеси, технології, якісні параметри продукції, показники фінансово-господарської діяльності підприємств (структурних підрозділів). Досліджуючи виробничі процеси, методи чи технології виробництва і збуту продукції, головну увагу приділяють пошуку резервів зниження витрат виробництва та підвищенню конкурентоспроможності продукції.

Розрізняють три типові стадії бенчмаркінгу [5]:

- підготовча стадія;
- стадія аналізу;
- стадія впровадження.

На підготовчій стадії здійснюють вибір об'єкта бенчмаркінгу та порівнюваних аналогів; знаходять значення показників (наприклад, собівартість, затрати

часу, частка браку); збирають необхідну для аналізу інформацію. Аналогів має бути якомога менше, оскільки зі зростанням їх кількості витрати на бенчмаркінг підвищуються, а результати опрацювати важче.

У ході аналітичної стадії на основі порівняння з підприємством-партнером виявляють недоліки (слабкі місця) в об'єктах бенчмаркінгу та ідентифікують причини їх виникнення. Критерієм оцінки процесів, функцій, методів чи виробничих процесів є показники їх продуктивності.

На стадії впровадження проводиться робота з реалізації результатів аналізу в практичній діяльності підприємства. Основний акцент роблять на розробленні стратегії і тактики нейтралізації виявлених у ході бенчмаркінгу слабких місць на підприємстві.

Окремі моделі бенчмаркінгу можуть містити до 30 кроків, які необхідно пройти для досягнення кінцевого результату. Загалом найчастіше використовують моделі [6, 7], що передбачають системний підхід та циклічність. Типова модель бенчмаркінгу складається з п'яти етапів, кожний з яких передбачає певні кроки (рис. 1) [8]:

- етап планування складається з трьох кроків: визначення об'єкта бенчмаркінгу, пошук найкращих варіантів у вибраній сфері, визначення методу збору інформації та збір цієї інформації;
- етап аналізу містить два кроки: визначення слабких сторін власної компанії в досліджуваній сфері, проектування очікуваного рівня;
- етап інтегрування складається з таких кроків: встановлення функціональних цілей, налагодження комунікаційних зв'язків;
- етап дії передбачає такі кроки: розроблення планів впровадження, впровадження та моніторинг;
- етап зрілості полягає у відповіді на запитання: чи інтегровано практику в процес діяльності фірми, чи досягнуто позиції лідера в цій сфері?

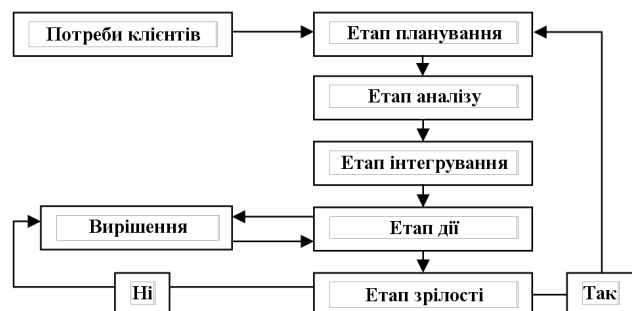


Рис. 1. Типова модель бенчмаркінгу

Циклічність вказаної моделі полягає в тому, що її етапи повторюються, залежно від ступеня досягнення завдань, поставлених перед організацією (кінцевої відповіді на запитання етапу зрілості).

Методологія бенчмаркінгу стає дедалі популярнішою. Спираючись на перевірений практикою досвід, компанія може розраховувати на зниження ризику, отримує можливість уникнути багатьох помилок, а також зменшити тимчасові й фінансові витрати, пов'язані з набуттям власного досвіду тощо. Особливою перевагою, на яку треба вказати, є те, що використання бенчмаркінгу дає можливість підприємству сформувати власну команду внутрішніх консультантів, напрацювати досвід проведення організаційних змін, створивши базу для подальшого вдосконалення організації, розраховуючи на власні ресурси.

Отже, бенчмаркінг є одним із ефективних засобів, за допомогою якого компанії зберігають свою конкурентоспроможність. Однак існує велика кількість «пасток», у які потрапляють організації, що вперше використовують концепцію бенчмаркінгу для підвищення своєї конкурентоспроможності. Основними помилками, дуже частими у практиці організацій під час використання бенчмаркінгу, і методами їх уникання є:

- сприйняття бенчмаркінгу як «інспекційної перевірки» функціонування підприємства. Отримана в результаті такої «перевірки» інформація може дати кілька цікавих і корисних цифр. Але результатом бенчмаркінгу повинно бути передусім з'ясування того, як отримані ці числа;

- використання без змін вже існуючих і схвалених «базових параметрів». Тільки тому, що в якомусь звіті сказано, що ціна в \$2,35 — «базова ціна» для певної угоди, це не означає, що укласти цю угоду потрібно за аналогічною ціною;

- зниження вимог щодо обслуговування і задоволення клієнта;

- організація бенчмаркінгу як комплексного процесу. Тоді такий процес є занадто великим і комплексним, щоб бути керованим;

- вибір для бенчмаркінгу теми (процесу), що не узгоджується зі стратегією організації, не забезпечує її цілі або ж перешкоджає іншим ініціативам, які розпочинає організація. Керівництво організації повинно контролювати і спрямовувати процес впровадження бенчмаркінгу на рівні стратегії;

- постановка завдань, що мають занадто розмиті межі й формулювання;

- відсутність підстави для проведення бенчмаркінгу. Ця помилка виникає, якщо пошук партнерів та інформації про них розпочато раніше, ніж повністю проаналізовано власний процес. Бенчмаркінг передбачає, що параметри власних процесів точно відомі;

- недостатньо повне власне вивчення партнера з бенчмаркінгу. Тут важливо, що ні час партнера, ні свій час не повинен витрачатися марно.

Обмеженість застосування самого бенчмаркінгу полягає в тому, що він забезпечує лише інформаційний ресурс, який згодом треба правильно використати для вироблення ефективних заходів з покращення власної продукції і підприємства загалом. Однак використання інформації, отриманої за його допомогою, дає змогу розвинути методологію оцінювання якості продукції, побудувавши структуру показників, через які ставляться вимоги до продукції. Загалом це є однією з першочергових задач забезпечення якості продукції, оскільки така оцінка повинна не тільки об'єктивно відображати фактичний рівень її якості, а й давати можливість зіставляти результати оцінювання та оцінювані вироби. Відповідно, розроблення і дослідження нових методів формування структури показників властивостей продукції та коефіцієнтів їх вагомості для оцінювання продукції з використанням інформації, отриманої в процесі бенчмаркінгової діяльності, є **актуальною задачею**.

Метою роботи є розроблення методу формування вимог до продукції, який забезпечуватиме можливість оцінювання і порівняння продукції різних виробників у різних площинах та поєднання власних пріоритетів споживача з пріоритетами виробника і вимогами системи технічного регулювання.

Завдання дослідження полягають в об'єднанні маркетингової діяльності, бенчмаркінгу, зворотного інженерного аналізу та розгортання функції якості в єдиний, неперервний інтегрований процес формування показників властивостей продукції та побудові алгоритму визначення коефіцієнтів вагомості цих показників.

Опис використання матриць в бенчмаркінгу. Якщо проаналізувати процес бенчмаркінгу продукції, то, як правило, він містить три фази [8]. Виділимо ті аспекти, що стосуються оцінювання якості продукції. Перша фаза характеризується типовими маркетинговими

дослідженнями, що полягають в опитуванні цільових груп та збиранні іншої доступної інформації з метою визначення важливих для споживачів параметрів. На другій фазі реалізується основне завдання бенчмаркінгу – виконання порівняння параметрів. Метою порівняння є визначення основних «сильних» та «слабких» сторін продукції з урахуванням пріоритетів споживача, що є третьою фазою бенчмаркінгу.

На основі зібраної інформації формується спеціальна матриця даних, елементи якої порівнюють за спеціально встановленими окремими критеріями чи з урахуванням ступеня важливості кожного параметра (рис. 2). Зіставлення споживчих характеристик продукції фірм-конкурентів дає можливість, керуючись вимогами ринку, визначити завдання вдосконалення виробів за кожним параметром. Однак застосування самого по собі відособленого методу приводить до висновку про його інформаційну обмеженість. Наприклад, у процесі реалізації бенчмаркінгу виникає необхідність оцінити важливість споживчих параметрів виробу для споживача. Очевидно, що самого опитування для цього недостатньо, оскільки окремі параметри можуть робити внесок в задоволення декількох вимог споживача. Окрім того, невідомі причини можливого відставання власних виробів порівняно з продукцією конкурентів.

споживчі характеристики виробу	вироби, що конкурують			
	A	B	C	D
показник 1				
показник 2				
показник 3				

Рис. 2. Типова матриця даних
під час реалізації бенчмаркінгу виробів

Обґрунтування доцільності й опис використання зворотного інженерного аналізу. Щоб з'ясувати причини переваг конкурентів, виконують так званий зворотний інженерний аналіз (англ. *reverse engineering*) або просто інженерний аналіз, який можна трактувати як розвиток розпочатої бенчмаркінгом діяльності з поліпшення. Завдання методу – встановити, за рахунок чого забезпечуються високі характеристики продукції [9, 10].

Відповідно інженерний аналіз орієнтований на дослідження технічної системи й особливостей її виробництва. Очевидно, що застосовувати його до-

цільно лише під час зіставлення однотипних виробів з однаковими характеристиками. Переважно об'єктами порівняння є кількість складальних одиниць, методи збирання і виготовлення, використовувані матеріали, складність виготовлення тощо. Часто для інженерного аналізу зразки виробів конкурентів розбирають, що дає можливість шукати резерви розвитку системи на технологічному рівні.

Результати інженерного аналізу теж подають у вигляді матриць, які рекомендовано будувати окремо для компонентів, матеріалів, методів виготовлення та збирання, хоча це суттєво ускладнює їх зіставлення (рис. 3).

Слабкою стороною інженерного аналізу є відсутність неперервного алгоритму зв'язку інженерних параметрів виробу з виробничими операціями і вимогами виробництва. Такий алгоритм можна реалізувати в методі QFD, що, фактично, є технологією інженерного проектування виробів і процесів їх виготовлення та «перетворює» побажання споживачів на технічні вимоги до виробу, а також технологічні параметри процесу його виробництва. Поряд з тим QFD дає можливість оцінити ступінь важливості споживчих параметрів виробу, пов'язавши їх з вимогами споживачів. Причому враховується та особливість, що побажання споживачів переважно отримуються за результатами опитування і виражені побутовою, нетехнічною мовою. Щоб «перетворити» їх на оцінювані параметри, застосовують інструменти кваліметрії.

Обґрунтування доцільності та опис використання розгортання функції якості, будиночки якості. В основу розгортання функції якості – QFD (англ. *quality function deployment*), або, як його ще називають, методу синхронного інжинірингу, покладено використання серії дво- або навіть тривимірних таблиць-матриць, так званих «будиночків якості» (англ. *houses of quality*) [11]. Такі матриці дають можливість пов'язати вимоги споживачів до рівня якості з показниками виробу, показники виробу з інженерними характеристиками компонентів, характеристики компонентів з виробничими операціями, а виробничі операції з вимогами виробництва. Відповідно переважно застосовують чотири таблиці-матриці (рис. 4).

Перша матриця у рядках міститиме вимоги до продукції з вказанням ступеня їхньої важливості для споживача, а в стовпцях – характеристики властивостей виробу. В клітинках для кожної характеристики записують ступінь взаємозв'язку між нею та вимогами споживачів, який визначають експертно. Якщо кореляція відсутня, клітинку залишають порожньою.

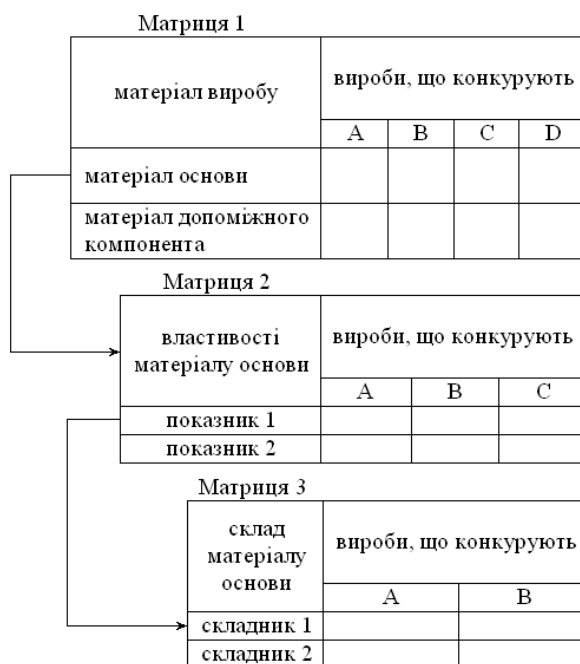


Рис. 3. Типові матриці для реалізації зворотного інженерного аналізу

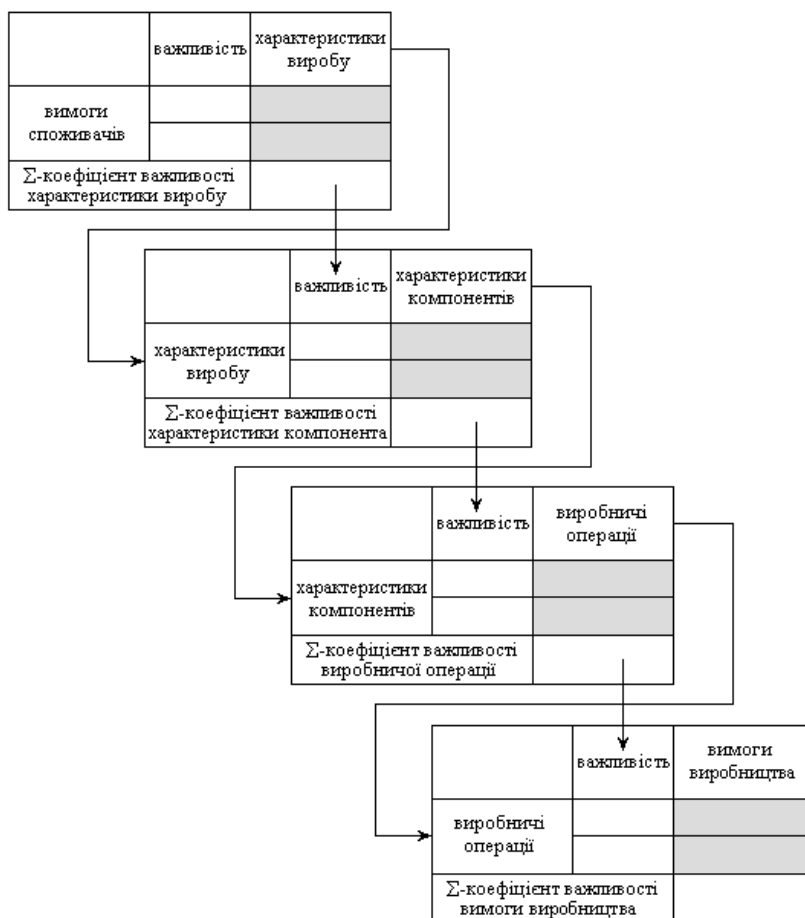


Рис. 4. Схема типових матриць реалізації методу QFD

Стовпці та клітинки матриці можуть доповнюватися даними, що відображають рівень задоволення вимог споживачів проєктованим виробом порівняно з виробами конкурентів, плановані показники, пріоритети виробника тощо. Після проведення ряду перетворень в крайньому правому стовпці отримують необхідний коефіцієнт, що вказує на ступінь важливості вимоги з погляду споживача та інших врахованих впливних факторів. Інтегральний коефіцієнт важливості кожної характеристики виробу розраховують, додаючи добутки коефіцієнтів вагомості та відповідних ступенів кореляції характеристик виробу з кожною вимогою споживача. Для того щоби з'ясувати, які інженерні характеристики властивостей компонентів є визначальними для виробу загалом, будується наступна матриця, яку можна доповнити порівнянням виробів конкурентів за їх характеристиками і визначити необхідність поліпшення, як це зроблено в першій матриці для вимог споживачів. Щоб встановити ступінь важливості кожної характеристики, можна використати інтегральні коефіцієнти важливості, отримані з першої матриці.

Результатом побудови другої матриці будуть інтегральні коефіцієнти важливості характеристик компонентів виробу. Потім будують матрицю взаємодії характеристик компонентів з виробничими операціями, далі – між виробничими операціями і вимогами виробництва. Тим самим забезпечується взаємозв'язок всіх матриць, кожна з яких дає свої інтегральні коефіцієнти важливості.

У результаті можна стверджувати, що метод QFD забезпечує:

- зв'язок між вимогами споживачів, технічними характеристиками виробу, параметрами його функціональних підсистем і їх компонентів на всіх етапах розроблення;
- перенесення споживчих вимог на сукупність контрольованих характеристик (проведення саме цієї операції вимагає бенчмаркінг) і вимог до технології виготовлення виробу.

Окрім того, метод є суттєво універсальнішим порівняно з попередньо описаними інструментами і може використовуватись для об'єднання методів опрацювання маркетингової інформації, бенчмаркінгу та інженерного аналізу в єдиний неперервний інформаційний потік.

Алгоритм інтегрованого формування показників якості (ПЯ). Базовим у моделюванні алгоритму

є метод QFD, за рахунок якого забезпечується неперервний зв'язок між структурою вимог споживачів та структурою технічних вимог до виробу. Оскільки побажання споживачів переважно отримуються за результатами опитування і виражені побутовою, нетехнічною мовою, то для їх перетворення на структуру вимог необхідно застосовувати ранжування. Розглянемо процес формування ПЯ та встановлення їх коефіцієнтів вагомості для проєктованої виробником А продукції, яку вже випускають конкуренти В і С (рис. 5.). Передбачається, що у виробника А є наявні дослідні зразки продукції, які потребують вдосконалення. Перша матриця у рядках міститиме вимоги до продукції з вказанням в першому стовпці ступеня їхньої важливості для споживача. Решта стовпців розділені на три частини: в лівій – показники якості виробу, в середній – виробники виробників-конкурентів, в правій – додаткові коефіцієнти, що характеризують специфіку виробника А.

Після проведення ряду перетворень у крайньому правому стовпці отримують необхідний коефіцієнт вагомості вимоги, що характеризує ступінь її важливості з урахуванням погляду споживача, конкурентного стану виробу, планованого рівня задоволення вимог та пріоритетів підприємства.

Далі розраховують інтегральний коефіцієнт важливості кожної групи характеристик та методів їх визначення для проєктованого виробу, додаючи добутки коефіцієнтів вагомості та відповідних ступенів кореляції показників якості з кожною вимогою споживача. Наступну матрицю будують, щоби з'ясувати, який з матеріалів забезпечуватиме найкращу кореляцію з показниками якості проєктованого виробу. В клітинках лівій частини матриці записують ступінь взаємозв'язку між показниками якості та матеріалами, який визначають експертно. В середній частині виконують порівняння продукції виробників-конкурентів за ступенем відповідності їх виробів окремим показникам якості, зокрема за тим ПЯ, який є найважливішим з погляду високої кореляції з вимогами споживачів.

Висновки. Детально розглянуто метод бенчмаркінгу та обґрунтування його використання в оцінюванні якості продукції. Користуючись базою, що надає бенчмаркінг, за допомогою реверсивного інжинірингу та функції розгортання якості можна побудувати методологію формування показників якості продукції, їхні коефіцієнти вагомості, залежності між матеріалом та конкретними характеристиками. Відповідно, вищеописана методологія забезпечує:

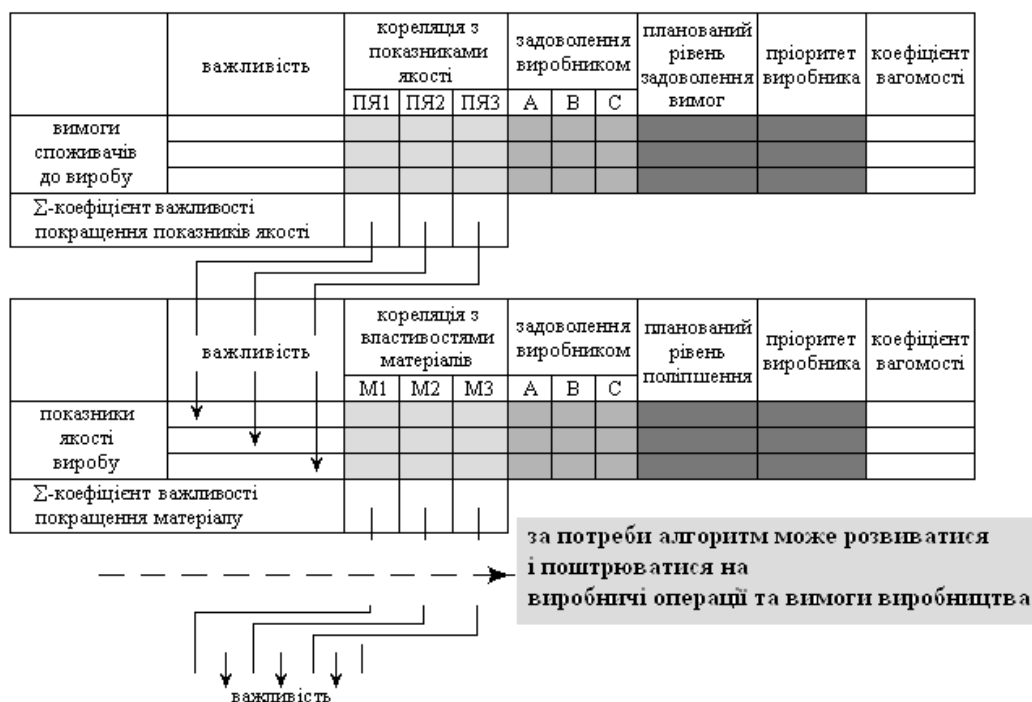


Рис. 5. Система матриць, що реалізують алгоритм формування ПЯ продукції та їх коефіцієнтів вагомості

– порівнювати вироби різних виробників, причому в двох або навіть чотирьох площинах – стосовно задоволення вимог споживачів, досягнення їхньою продукцією високих значень показників якості, використання передових матеріалів та компонентів, а також досягнення високих значень характеристик виробничих процесів;

– враховувати плановані перспективні значення, що стосуються рівня задоволення вимог споживачів, поліпшення самого виробу та досягнення ним необхідного якісного рівня;

– поєднувати власні пріоритети виробника з пріоритетами і вимогами системи технічного регулювання;

– чітко визначати шлях перенесення споживчих вимог на сукупність показників якості виробу, ПЯ на сукупність властивостей матеріалів, а сукупність властивостей матеріалів на вимоги виробництва виробу.

1. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2005, IDT): ДСТУ ISO 9000:2007. – [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 29 с. – (Національний стандарт України). 2. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2008, IDT): ДСТУ ISO 9001:2009. – [Чинний від 2009-09-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 34 с. – (Національний

стандарт України). 3. Системи управління якістю. Настанови щодо поліпшення діяльності (ISO 9004:2000, IDT): ДСТУ ISO 9004:2001. – [Чинний від 2001-10-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2001. – 55 с. – (Національний стандарт України). 4. Ашуев А.М. Бенчмаркінг та інформаційне забезпечення процесу нововведень // 36. наук. праць Донецького державного університету. Сер.: Економіка. – 2004. – Т.5; Вип. 34: Економіка та маркетинг підприємства і території. – С. 140–146. 5. Козак Н. Бенчмаркінг як інструмент підвищення конкурентоспроможності компанії // Управление компанией. – 2000. – № 1–2. 6. Camp, R.C. Benchmarking: the search for best practices that lead to superior performance // Quality Progress, January. – 1989. – P. 62–82. 7. Vaziri H.K. Using competitive benchmarking to set goals // Quality Progress, October. – 1992. – P.81–85. 8. Тубінь А.М. Мусик О.В. Ефективність використання бенчмаркінгу для підвищення ділової досконалості підприємства / Тернопільський державний економічний університет. 9. Харрінгтон Х. Дж. Бенчмаркінг в лучшем виде! 20 шагов к успеху / Х. Дж. Харрінгтон, Дж. С. Харрінгтон; [пер. с англ. под ред. Б. Резниченко]. – М. [и др.] : Питер, 2004. – 173 с. 10. Пустов Л.Ю. Обзор современных методик сравнения конкурирующих систем при разработке новых

продуктов / Л.Ю. Пустов. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://www.metodolog.ru/00919/00919.html>. 11. Лоренс П. Сулліван. Структурирование

функции качества (оригинал L.P. Sullivan. *Quality Function Deployment*, June 1986. – P. 39–50) (<http://www.deming.nm.ru/TehnUpr/StrFunKa.htm>).

УДК 658.562

АДАПТИВНІСТЬ ЧИННОЇ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ УКРАЇНИ ДЛЯ ЗАВДАНЬ ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ЗГІДНО З МІЖНАРОДНИМИ ВИМОГАМИ

© Бойко Тарас, Куць Віктор, 2013

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Проаналізовано структуру формування вимог до об'єктів оцінювання згідно з міжнародними та національними правилами технічного регулювання; виконано їх порівняльний аналіз. Показано, що вдосконалення чинного нормативного забезпечення правил вітчизняної системи технічного регулювання для гармонізації з міжнародними можливе без суттєвої реорганізації за умови застосування спеціальних форм побудови технічних умов на конкретну продукцію, що забезпечуватимуть необхідну однорідність вимог і правил.

Проанализирована структура формирования требований к объектам оценивания согласно международных и национальных правил технического регулирования; выполнен их сравнительный анализ. Показано, что совершенствование существующего нормативного обеспечения правил отечественной системы технического регулирования для гармонизации с международными возможно без существенной реорганизации при условии применения специальных форм построения технических условий на конкретную продукцию, которые будут обеспечивать необходимую однородность требований и правил.

The structure of forming the requirements to the estimated objects according to international and national rules of technical regulation has been sifted; their comparison analysis has been made. It is revealed that improvement in the existing normative support of national technical regulation system rules, in order to harmonize them with international ones, is possible without considerable reorganization under the condition of applying the special forms of technical condition construction for the concrete production which would provide the necessary homogeneity of requirements and rules.

Вступ. Для сучасного стану системи технічного регулювання характерні зміни, пов'язані з виконанням зобов'язань Україною як члена СОТ. Згідно з планом національної стандартизації, починаючи з 2008 р., передбачено ведення робіт з трансформації системи УкрСЕПРО та оновлення нормативної бази з питань оцінювання відповідності і приведення їх до рівня, ідентичного з тим, що його використовують більшість країн світу [1]. Зокрема передбачено, припиняючи чинність стандартів системи УкрСЕПРО, більшість яких ґрунтуються на вимогах міжнародних нормативних документів (НД) кінця 80-х років, впроваджувати в практичну діяльність у сфері оцінювання відповідності нові, гармонізовані з міжнародними, стандарти. Орієнтиром в цьому процесі є досвід міжнародної

організації стандартизації ISO, в межах якої діє спеціалізований комітет CASCО. До компетенції комітету входять питання підтвердження відповідності продукції, послуг, процесів і систем якості до вимог стандартів. На основі збору й аналізу інформації CASCО досліджує практику такої діяльності у світі, сприяє взаємному визнанню національних і регіональних систем сертифікації та використанню міжнародних стандартів у галузі випробувань і підтвердження відповідності. Для цього комітет разом із міжнародною електротехнічною комісією ІЕС підготували ряд настанов з випробувань і оцінювання відповідності продукції, послуг, систем якості; настанови з підтвердження компетентності випробувальних лабораторій і органів з сертифікації; настанови з питань гармонізації націо-

нальних систем сертифікації; настанови стосовно акредитації національних систем сертифікації.

Принципи, викладені в цих документах, повинні бути враховані й у національній системі технічного регулювання, оскільки це є підставою для угод з взаємного визнання результатів оцінки відповідності, отриманих в Україні, та усіх країн-членів СОТ. Наша країна є активним членом (Р-членом) CASCO. З 22 чинних нормативних документів CASCO 13 вже прийнято, а решта 9 заплановано прийняти як національні стандарти. Тобто всі нормативні документи CASCO найближчим часом наберуть чинності в Україні як національні [1].

Загалом можна стверджувати, що простежуються позитивні тенденції модернізації вітчизняної системи оцінювання відповідності. Основний акцент зроблений на перспективні зміни, пов'язані з інтеграцією у міжнародний економічний простір. Однак, поряд з тим, надто мало уваги приділяється розвитку сфери, пов'язаної з специфікою та актуальними станом внутрішнього ринку та регламентуванням правил, спрямованих на конкретні завдання стосовно оцінювання відповідності та якості конкретної продукції, що спрямована на внутрішні потреби виробників в Україні.

Мета роботи – проаналізувати структуру формування вимог до об'єктів оцінювання, що забезпечується сукупністю нормативних документів, на відповідність яким спрямовані процедури оцінювання відповідності в національній системі технічного регулювання, і визначити способи гармонізації національних правил щодо розроблення нормативних документів, з міжнародними для забезпечення однорідності вимог, що ставляться до об'єктів оцінювання.

Міжнародний досвід нормування вимог щодо оцінювання відповідності. Аналізуючи світовий досвід щодо оцінювання конкретної продукції, можна виявити, що поширеною практикою для провідних фахових організацій є регламентування правил, спрямованих на виконання конкретних завдань щодо оцінювання відповідності та якості продукції та орієнтованих на внутрішні потреби самих виробників. Прикладом може бути ІЕС, що однією з перших міжнародних організацій з стандартизації почала на початку 70-х років створювати під своєю егідою міжнародні системи сертифікації. З 1984 р. у межах ІЕС почала діяти система визнання результатів випробувань електротехнічного обладнання на відповідність до стандартів електробезпеки – ІЕСЕЕ, а в 1986 р. утворено систему з сертифікації виробів електронної техніки –

ІЕСQ. Обидві системи відіграють важливу роль у розвитку міжнародної економічної співпраці та торгівлі.

Зокрема, система сертифікації ІЕСQ регламентує не тільки правила, що визначають власну діяльність, але й містять вимоги до документів, на відповідність до яких спрямоване встановлення відповідності. Наприклад, згідно з [2], у системі (повна сучасна назва – Система оцінювання якості електронних компонентів Міжнародної електротехнічної комісії (ІЕСQ)) повинні бути визначені необхідні нормативні документи для процесу встановлювання відповідності виробів до вимог технічних умов (ТУ) (рис. 1).

Для того, щоби уникнути повторень та досягти необхідної однорідності під час надавання та обміну даними, ІЕСQ визначає такі рівні документів, що мають статус нормативних:

- основоположний стандарт (технічні умови);
- загальні технічні умови;
- групові технічні умови;
- форми технічних умов на вироби конкретного типу;
- технічні умови на вироби конкретного типу.

За правилами системи [3] комплект вимог до продукції, як правило, складається з декількох взаємопов'язаних документів вказаних рівнів (див. рис. 1).

Обсяг комплексу документів визначається правилами, прийнятими ІЕСQ, і повинен бути необхідним і достатнім для того, щоб допомогти технічним комітетам та іншим розробникам стандартів та ТУ забезпечити:

- узгодженість стандартів та ТУ, що їх розробляють різні технічні комітети;
- узгодженість із національними стандартами або іншими ТУ;
- можливість використання таких документів у системах оцінювання відповідності та системах оцінювання якості, зокрема у власній системі.

Встановлені документами норми повинні забезпечувати можливість визначати відповідність технічних характеристик виробів до встановлених вимог та сприяти процесу укладання контрактів між розробниками виробів, виробниками і споживачами. Також документи повинні бути придатними для оцінювання рівня якості з метою порівняння однотипних виробів різних виробників, їх надійності і визначення фактичних споживчих властивостей. Для цього комплект взаємопов'язаних документів може містити таку інформацію, як опис виробу у вигляді номінальних чи гранично допустимих значень параметрів, залежності від дії механічних і кліматичних чинників та їх характеристики, а також опис процедур, що забезпечують перевіряння відповідності виробу до заданих вимог.

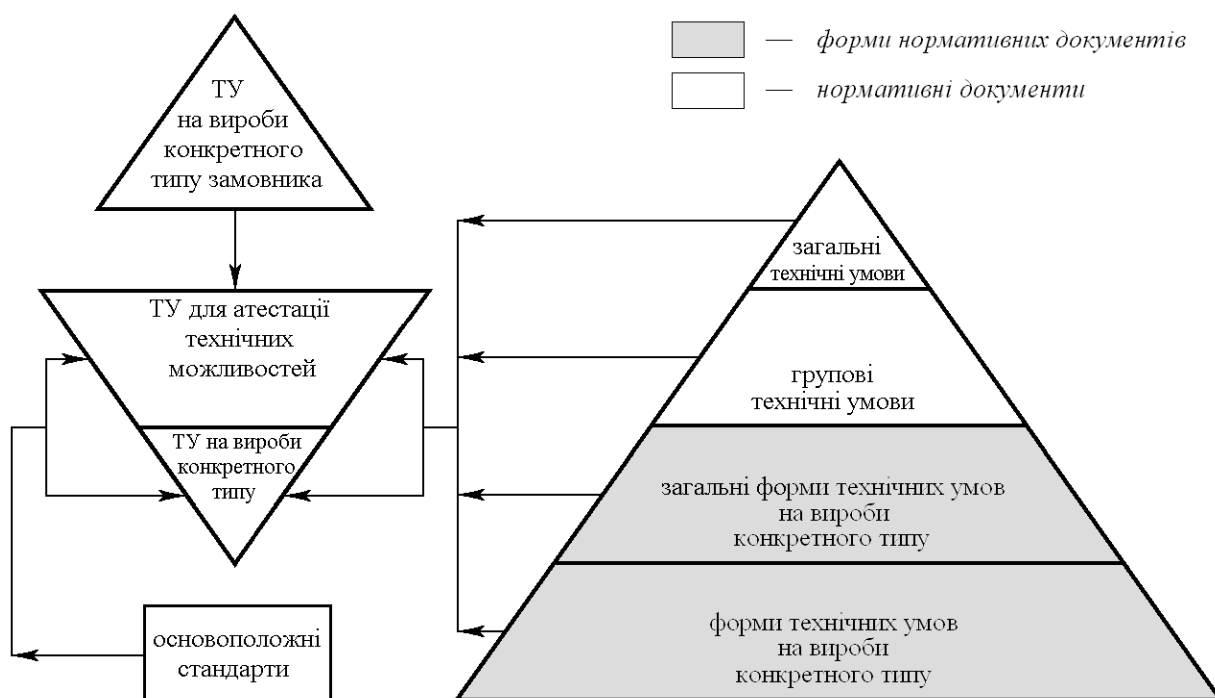


Рис. 1. Склад та ієрархія нормативних документів під час формування технічних умов на продукцію згідно з вимогами IECQ

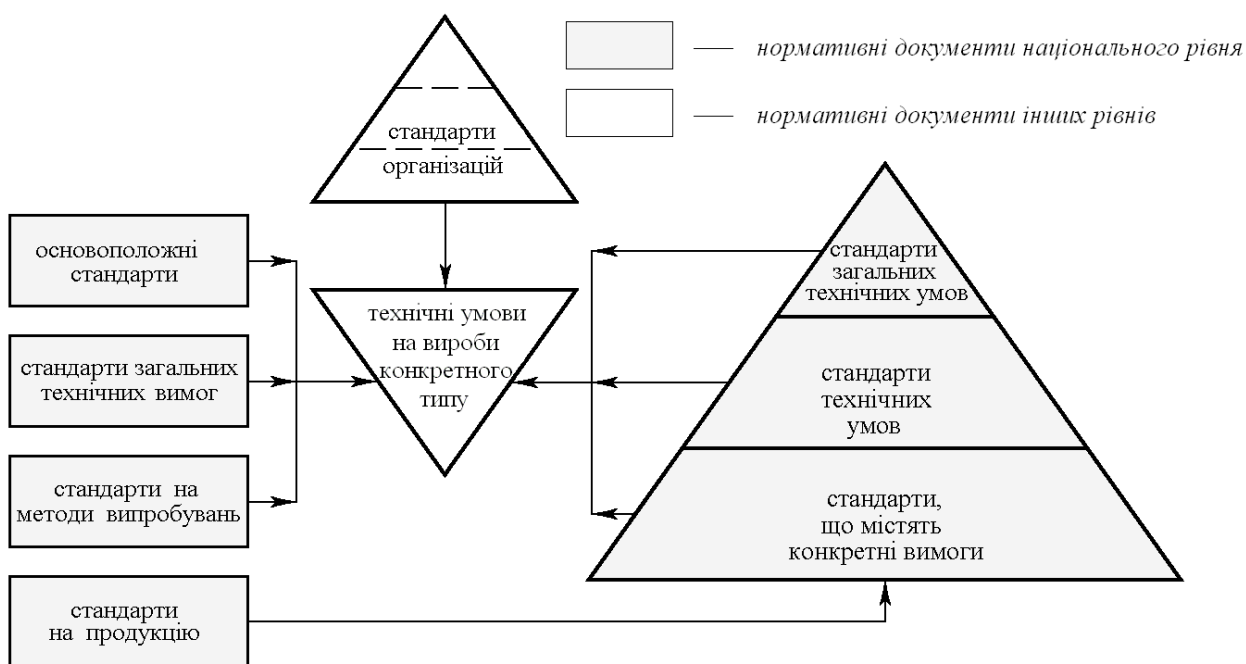


Рис. 2. Склад та ієрархія нормативних документів під час формування технічних умов на продукцію в Україні

Основоположні стандарти (технічні умови) системи IECQ містять загальну інформацію для всіх виробів чи груп виробів. Значна частина інформації в ТУ є загальною для груп, підгруп і т.д. виробів. Це можуть

бути, наприклад, умови випробовування, ступені жорсткості вимог до виробів, номінальні та гранично допустимі значення та розміри, вимоги до випробовування, програма випробовування, рівні контролю і

критерії приймання. Така інформація може вноситися відповідно в загальні або групові технічні умови.

З метою уніфікації комплексу документів та досягнення необхідної однорідності під час надавання та обміну даними, ІЕСQ визначає такий рівень нормативного документа, як форма технічних умов на вироби конкретного типу чи загальна форма технічних умов на вироби конкретного типу, що розробляють, як правило, технічні комітети ІЕС. Форма є настановою для розроблення ТУ на вироби конкретного типу, визначає форму побудови документа та інформацію, що він повинен містити (див. рис. 1).

Аналіз національних нормативних документів з оцінювання відповідності. Для порівняння розглянемо чинні правила щодо формування ТУ в національній системі стандартизації України. Отримаємо дещо іншу структуру (рис. 2). ТУ є одним з трьох основних різновидів нормативних документів. Згідно з [4] ТУ встановлюють вимоги до продукції, призначеної для самостійного постачання, та регулюють відносини між виробником та споживачем продукції.

Як правило, ТУ приймають на завершальному етапі розроблення продукції за позитивними результатами приймально-здавальних випробувань на один конкретний вид продукції або групу однорідної продукції – групі ТУ. Правила щодо формування ТУ викладені у кількох основоположних стандартах. Це згадані вже стандарти комплексу «Національна стандартизація» [5, 6], національна настанова Системи конструкторської документації [7] та міждержавний стандарт комплексу «Единая система конструкторской документации» [8]. Зазначимо, що комплекс стандартів УкрСЕПРО не регламентує жодних власних правил щодо формування ТУ.

Технічні умови розробляють, якщо нема національних стандартів на розроблювану продукцію. Однак переважно ТУ потрібні, коли необхідно конкретизувати, доповнити або підвищити вимоги чинних стандартів на продукцію чи розширити її асортимент. Фактично кожний новостворюваний виріб повинен мати свої ТУ. Саме тому може виявитися, що вимоги до певної продукції регламентуються одночасно кількома нормативними документами. При цьому ТУ не повинні повторювати вже регламентовані чинними стандартами норми і положення.

Під час формування ТУ треба також враховувати чинні стандарти на методи чи методики випро-

бування, вимірювання, аналізування, контролювання та стандарти загальних технічних вимог, якими встановлюються значення характеристик для виробу, процесу чи послуги в кожному випадку окремо.

Окрім того, національною стандартизацією України передбачено розроблення на продукцію нормативних документів різних рівнів – національних стандартів та стандартів організацій. Щодо останніх, то їх доцільність, правила розроблення та прийняття покладені виключно на виробників і не регламентуються нині жодними нормативними актами чи документами. Оскільки нормативні документи на рівні суб'єктів господарювання розробляють на продукцію, процеси та послуги, які вони використовують для власних потреб, то очевидно, що їх теж слід враховувати під час розроблення та прийняття ТУ на продукцію.

Отже, на підставі вимог, норм та правил, що викладені в названих НД різних рівнів, власне і формуються технічні умови на конкретний виріб (див. рис. 2). З урахуванням того, що вимоги до продукції можуть бути регламентовані ще й конкретними стандартами, наприклад, на методи відбирання зразків чи методи випробувань, є очевидним значне ускладнення формування повного комплексу вимог, що містяться в ТУ на вироби конкретного типу.

Порівняння та рівень адаптації аналізованих структур для потреб оцінювання відповідності.

Порівнюючи структури (рис. 1 та рис. 2), зазначимо, що їх необхідними й одночасно спільними елементами є основоположні, загальні та групові нормативні документи. Основоположні стандарти містять загальну інформацію для всіх видів виробів щодо термінів та визначень, одиниць вимірювань, рядів переважних чисел, вибору номіналів параметрів тощо, а загальні та групові технічні умови (в національній системі – стандарти загальних технічних умов та технічних умов) потрібні для викладення спільних вимог до однотипних виробів, їх груп, підгруп, видів тощо. Окрім цього, основоположний стандарт [5] встановлює спільні вимоги до змісту, побудови, викладання та оформлення всіх ТУ в національній стандартизації України. Правила системи ІЕСQ регламентують те саме, але детальніше і конкретизованіше, зокрема у вигляді форм та загальних форм для технічних умов і лише на вироби конкретного типу. Специфічним елементом системи ІЕСQ є ТУ на вироби конкретного типу замовника, що значно підвищує відповідальність як розробника самих ТУ, так і виробника продукції.

Решта елементів структури (рис. 2) властиві лише національній системі стандартизації. В стандартах загальних технічних вимог, як правило, подається перелік характеристик, що конкретизуються в процесі укладання договорів між замовником та постачальником продукції. Стандарти на методи випробувань встановлюють послідовність робіт і операцій, які повинні виконуватись під час контролю параметрів продукції, а також способи і засоби для забезпечення об'єктивності оцінювання відповідності продукції встановленим вимогам. Стандарти на продукцію встановлюють вимоги до конкретного виду продукції або ж групи однорідної продукції, які забезпечують її відповідність своєму призначенню. Національною стандартизацією передбачено кілька різновидів стандартів на продукцію, а саме стандарти загальних технічних умов, що містять загальні технічні вимоги до груп однорідної продукції, стандарти технічних умов, що містять вимоги до окремих її видів, та стандарти, які містять лише конкретні вимоги до продукції, наприклад, методи її випробувань та контролю, методи відбору проб, сорти, правила пакування, маркування, транспортування тощо.

Загалом треба мати на увазі, що метою створення технічних умов є вираження певних потреб або фіксування стану, в якому повинна перебувати придатна продукція, і їх переведення у набір кількісно чи якісно встановлених вимог до характеристик об'єкта у вигляді показників якості для того, щоби уможливити перевіряння та підтвердження виконання цих вимог. Тому очевидно, що процес формування ТУ повинен бути таким, щоби кожний документ був якомога придатнішим для оцінки (оцінювання) відповідності. Причому оцінювання ступеня, до якого виконуються вимоги, є лише вірогідно можливим супутнім завданням, яке до того ж не належить до регламентованих процедур встановлення відповідності. Знову ж таки наявність самих показників якості в НД є лише необхідною умовою можливості впровадження методології кваліметрії, але не достатньою.

Це можна простежити, аналізуючи адаптацію різних елементів структур з рис. 1 та рис. 2 для процедур сертифікації виробів в обох системах. Так, загальні та групові ТУ системи ІЕСQ можуть містити вимоги до виробів лише за необхідності. Натомість, частіше в них можуть вказуватись вимоги до проведення атестації технічних можливостей виробництва продукції. У національній стандартизації України для

цього передбачено процедуру атестації виробництва, порядок здійснення якої регламентує окремий нормативний документ [9] з комплексу стандартів "Система сертифікації УкрСЕПРО".

Необхідно звернути увагу на той факт, що згідно з [2] комплекс заходів, проведених для встановлення відповідності продукту вимогам, зазначеним у ТУ на вироби конкретного типу, називають «оцінювання якості», тоді як згідно з [10] ця процедура зветься "установлення відповідності", а в законі України [11] її означено терміном "оцінка відповідності" (за правилами морфології української мови слід вживати слово «оцінювання»). Варто також звернути увагу на таку особливість змісту загальних технічних умов згідно з ІЕС [3], як "контроль відповідності якості", аналогом для якого в національній сертифікації можна вважати процедуру технічного нагляду за сертифікованою продукцією [12].

У системі ІЕСQ оцінювання якості виконує сам виробник під наглядом Національної служби нагляду за такими етапами [3, 13, 14]:

- атестація підприємства-виробника;
- установлення відповідності та атестація технічних можливостей;
- контроль відповідності якості;
- сертифікація відповідності.

Під атестацією підприємства-виробника розуміють оцінювання його виробничих потужностей. Цю процедуру можна вважати аналогом обстеження виробництва в системі УкрСЕПРО [12]. Атестація технічних можливостей, згідно з вимогами ІЕСQ, може бути альтернативою встановленню відповідності і, очевидно, є процедурою, подібною до атестації виробництва в УкрСЕПРО [9]. А встановлення відповідності – це вже "рішення уповноваженого органу про те, що виробник може виробляти достатню кількість виробів даного типу відповідно до вимог застосовуваних технічних умов" [3].

Щодо контролю відповідності якості, то його проводять після того, як видано сертифікат відповідності для встановлення, що "якість підтримується відповідно до вимог застосовуваних технічних умов" [2]. Як зазначено вище, в УкрСЕПРО подібною процедурою є технічний нагляд за сертифікованою продукцією.

Стосовно сертифіката відповідності, то за правилами ІЕС його видає виробник, тоді як в УкрСЕПРО це здійснює відповідний орган сертифікації. Зауважимо, що в національній системі стандартизації України,

згідно з [11], процедуру, за допомогою якої виробник під свою повну відповідальність документально засвідчує, що продукція відповідає встановленим вимогам, називають декларуванням відповідності. До схеми сертифікації продукції в УкрСЕПРО може належати ще й процедура сертифікації систем якості, тоді як згідно з правилами ІЕСQ [2] відповідна процедура системі невластива.

Висновки. Загалом можна підсумувати, що розглянуті системи сертифікації, незважаючи на відмінності в термінології, регламентуванні правил та ієрархії підпорядкування (ІЕСQ об'єднує недержавні системи), виконують перелік, загалом, аналогічних завдань щодо оцінювання якості, а точніше відповідності. Однак зазначимо, що структура формування ТУ на конкретну продукцію в Україні містить більше компонентів, є значно складнішою і потребує узгодження НД різних видів, ієрархій та рівнів господарювання і однозначно орієнтована лише на вирішення завдань підтвердження відповідності продукції, зокрема в межах УкрСЕПРО.

Створення ТУ, згідно з правилами ІЕС [3], є простішим і, як вже зазначалося, доцільніше для оцінювання та порівняння якості (відповідності) виробів. Однак як і в одній, так і в другій структурах немає правил, за якими можна б було виконувати повноцінне кількісне (кваліметричне) оцінювання рівня якості продукції та за його результатами порівняти її з продукцією інших виробників.

Україна ще в 1993 р. отримала статус повного члена Міжнародної електротехнічної комісії (ІЕС), є органом-членом ІЕСЕЕ і, відповідно, членом міжнародної системи сертифікації електротехнічної продукції з питань безпеки. Стандарти, які регламентують правила щодо формування ТУ в системі ІЕСQ, чинні і в Україні [15, 16], але на практиці не застосовуються. Можна припустити, що їх використання для розроблення нормативних документів на види виробів конкретного типу забезпечувало б кращу уніфікацію вимог та змістового наповнення ТУ на продукцію за рахунок приведення нормативних документів на вироби конкретного типу до єдиного зразка на основі застосування форми технічних умов. Однак при цьому треба враховувати, що наявність самих нормативних документів, що регламентують правила розроблення ТУ, є лише необхідною умовою можливості впровадження методології кваліметрії у практичну діяльність,

але не достатньою. Загалом для національних нормативних документів, що регламентують діяльність з оцінювання відповідності в Україні, характерна відсутність єдиної структурної однорідності щодо нормування вимог та процедур встановлення і підтвердження відповідності, зокрема, для того, щоби їх можна було використовувати для завдань отримання кількісної оцінки якості продукції.

Підсумовуючи викладене, можна стверджувати, що ефективний розвиток і практичне використання кваліметричних методів можливі лише за умови їх впровадження в процес нагляду за виробництвом, постачанням та підтвердження відповідності товарів не тільки як складової сфери виробництва, але й державної системи технічного регулювання. А необхідною умовою для цього власне і є розвиток та модернізація відповідної національної нормативної бази. Причому вдосконалення чинного нормативного забезпечення з метою досягнення ним придатності для кваліметричного оцінювання в межах актуальних правил діяльності вітчизняної системи технічного регулювання можливе без суттєвої реорганізації чинних нормативних документів за умови застосування спеціальних форм побудови технічних умов на конкретну продукцію, що забезпечуватимуть необхідну однорідність вимог і правил виконання кількісного оцінювання якості.

1. Доповідь Генерального директора Українського навчально-дослідного та наукового центру проблем стандартизації, сертифікації та якості, ДП «УкрНДНЦ» Л.О. Корчової «Гармонізація стандартів у сфері оцінювання відповідності в Україні» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ukrndnc.org.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=538. 2. IEC QC 001001 IEC Quality Assessment System for Electronic Components (IECQ) – Basic Rules. – Sixth Edition. Publication Date: Oct. 1, 2002. 3. IECQ GUIDE 102 Electronic Components: Specification Structures for Quality Assessment (Qualification Approval and Capability Approval) (IEC GUIDE 102 ED 3); (Amendment 1 – 1994). Publication Date: Jan 1, 1989. 4. Закон України «Про стандартизацію» від 17 травня 2001 р., № 2408-III. 5. Національна стандартизація. Правила побудови, викладання, оформлення, погодження, прийняття та позначення технічних умов: ДСТУ 1.3:2004. – [Чинний від 2005-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України,

2005. – 27 с. – (Національний стандарт України). 6. Національна стандартизація. Правила побудови, викладання, оформлювання та вимоги до змісту стандартів: ДСТУ 1.5:2003. – [Чинний від 2003-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 60 с. – (Національний стандарт України). 7. Система конструкторської документації. Настанови щодо типової побудови технічних умов: ДСТУ 4486:2005. – [Чинний від 2006-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 36 с. – (Національний стандарт України). 8. Единая система конструкторской документации. Технические условия: ГОСТ 2.114-95. – [Введ. с 1996-07-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 12 с. – (Межгосударственный стандарт). 9. Система сертифікації УкрСЕПРО. Атестація виробництва. Порядок здійснення: ДСТУ 3414-96. – [Чинний від 1997-04-01]. – К.: Держстандарт України, 1997. – 22 с. – (Державний стандарт України). 10. Стандартизація та суміжні види діяльності. Терміни та визначення основних понять: ДСТУ 1.1-2001. – [Чинний від 2001-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2001. – 42 с. – (Національний стандарт України). 11. Закон України «Про підтвердження відповідності» від 17.05.2001 р., № 2406-III. 12. Система сертифікації УкрСЕПРО. Порядок проведення сертифікації продукції: ДСТУ 3413-96. – [Чинний від 1997-04-01]. – К.: Держстандарт України, 1997. – 30 с. – (Державний стандарт України). 13. Система оцінювання якості електронних компонентів Міжнародної електротехнічної комісії (IECQ). Правила процедури. Частина 1. Адміністрація (IEC QC 001002-1:1998, IDT): ДСТУ IEC QC 001002-1:2007. – [Чинний від 2009-01-01] – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 22 с. – (Національний стандарт України). 14. Система оцінювання якості електронних компонентів Міжнародної електротехнічної комісії (IECQ-CECC). Правила процедури. Частина 2. Документація (IEC QC 001002-2:1998, IDT): ДСТУ IEC QC 001002-2:2007. – [Чинний від 2009-01-01] – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 39 с. – (Національний стандарт України). 15. Система оцінювання якості електронних виробів Міжнародної електротехнічної комісії (IECQ). Основні положення (IEC QC 001001:1998, IDT) ДСТУ IEC QC 001001-2001. – [Чинний від 2003-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 60 с. – (Національний стандарт України). 16. Вироби електронної техніки. Побудова технічних умов для оцінювання якості (Встановлення відповідності та атестація технічних можливостей) (IEC Guide 102:1996, IDT): ДСТУ IEC Guide 102-2002. – [Чинний від 2004-07-01] – К.: Держспоживстандарт України, 2002. – 42 с (Національний стандарт України).

УДК 620.11:006; 621.317

МОЖЛИВОСТІ ОПЕРАТИВНОГО КАЛІБРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ВИМІРЮВАЧІВ НАПРУГИ

й Яцук Василь, Янович Роман, Здеб Володимир, 2013

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
vyatsuk@lp.edu.ua, romanyanovych@rambler.ru, zvbl@polynet.lviv.ua.

Запропоновано підвищувати метрологічну надійність промислових вимірювачів напруги на місці експлуатації з використанням кодокерованих мір напруги. Розроблено алгоритм коригування адитивних складових похибки як вольтметра, так і міри напруги. Показано граничні метрологічні можливості оперативного дистанційного контролювання вимірювачів напруги на місці експлуатації.

Предложено повышать метрологическую надёжность промышленных измерителей напряжения на месте эксплуатации с использованием кодоуправляемых мер напряжения. Разработан алгоритм корректирования аддитивных составляющих погрешностей как вольтметра, так и мер напряжения. Показаны граничные метрологические возможности пути оперативного дистанционного контролирования измерителей напряжения на месте эксплуатации.

Increasing of industrial measuring voltage metrological reliability by a code-control measure voltage under the exploitation conditions is proposed in this paper. The correction algorithm of additive errors for both a voltmeter and a voltage measure is proposed. The extreme metrological possibility of remote express voltmeter checking in the exploitation conditions has been discussed.

Вступ. Вимірювання під час контролювання перебігу технологічних процесів слід розглядати як цілісний процес від сприйняття і перетворення вимірювальної інформації з об'єкта до її опрацювання, зберігання, передавання і використання для вироблення зворотної дії на контрольовані технологічні об'єкти. Тому для забезпечення в сучасних умовах одного із найважливіших параметрів засобів вимірювань (ЗВТ) – необхідної метрологічної надійності на практиці постійно контролюють процеси вимірювальної техніки [1]. Достовірну вимірювальну інформацію необхідної точності можна отримати тільки за умови технічно обґрунтованого вибору ЗВТ, який охоплює такі дані [2]: наявність вимірюваних або контрольованих параметрів об'єкта; значення допусків на відхилення контрольованих параметрів і допустимі значення похибок вимірювання параметрів об'єкта; допустимі ймовірності хибної та невстановленої відмов для кожного з контрольованих параметрів і значення довірчих ймовірностей для вимірюваних параметрів; закони розподілу вимірюваних (контрольованих) параметрів і похибок їх вимірювання, що можуть виникати під час використання засобів вимірювання (контролю) параметрів; умови вимірювань: механічні навантаження (вібрація, удари, прискорення тощо), кліматичні

впливи (температура, вологість, тиск тощо), наявність чи відсутність активно шкідливого середовища (агресивні гази і рідини, високі температура або електрична напруга, грибки, плісень, електромагнітні поля, радіоактивні та інші випромінювання тощо), в якому експлуатуватимуться засоби вимірювань або їх елементи).

На основі цих даних розраховують точнісні характеристики (границі допустимих основної та додаткової похибок потрібного ЗВТ) [3–6].

Мета досліджень. Основною метою цієї статті є теоретичний аналіз можливості оперативного калібрування промислових вимірювачів напруги за допомогою кодокерованих мір напруги з автоматичною корекцією адитивної складової похибки (АСП).

Нормативне забезпечення оперативного контролювання метрологічного стану засобу вимірювань. Однією із основних метрологічних характеристик ЗВТ під час періодичного контролювання є достовірність вимірювань (контролювання) параметрів, яка вказує на ймовірність того, що значення похибки вимірювання не перевищуватиме допустимих значень із заданою ймовірністю. Для гарантування досягнення

потрібного рівня якості товарів, продукції, послуг, що виробляються із використанням ЗВТ, сучасні вітчизняні і міжнародні нормативні документи рекомендують виконувати систематичний і повний контроль проведення процесів вимірювань, який розглядається як окрема і тривала процедура [1]. Цей стандарт рекомендує контролювати вимірювальні процеси зі статистичним опрацюванням результатів вимірювань та їх документуванням. Частоту перевірки процесів вимірювань треба визначати для кожного окремого процесу, зокрема як техніко-економічний компроміс між вартістю метрологічних перевірок (з вилученням ЗВТ з технологічного процесу і заміною його іншим або, за неможливості заміни, й зупиненням процесу виробництва, транспортування цього ЗВТ до випробувальної лабораторії і попереднього місця експлуатації, проведенням перевірки) та важливістю точності вимірюваного параметра для забезпечення якості і залежить від таких чотирьох основних чинників [1] – кількості перевірок, ступеня потрібного забезпечення, ступеня важливості джерела похибки вимірювань, стабільності процесу.

Враховуючи суперечливість практичних критеріїв – ризик невідповідності ЗВТ технічним умовам під час його експлуатації повинен бути мінімальним, а пов'язані з метрологічним підтвердженням витрати якомога нижчі – нормативні документи рекомендують декілька методів початкового вибору періодичності метрологічного підтвердження та її коригування на підставі накопиченого досвіду [1].

Періодичність метрологічних перевірок визначається передовсім метрологічною надійністю ЗВТ і для підвищення достовірності вимірювань її треба збільшувати. З іншого боку, здійснення метрологічної перевірки пов'язане зі значними економічними витратами і тому її періодичність слід максимально збільшувати. В результаті і сьогодні проблема встановлення оптимальних міжперевірних інтервалів є дуже складною і до кінця не вирішеною [2, 3, 6, 7].

Кінцевою метою проведення оперативного контролю перебігу процесів вимірювань є підвищення метрологічної надійності. Здійснення цієї процедури пов'язане із двома її науково-технічними аспектами. Першим з них є кількісна характеристика – достовірність контролю, а другою – частота його проведення.

Для забезпечення високої достовірності контролю $D=1$ треба на практиці забезпечувати симетричні межі допустимих значень похибок ЗВТ у реальних умовах

експлуатації з математичним сподіванням $M(\Delta_x)=0$. Рівності ж нулю математичного сподівання похибки ЗВ в реальних умовах експлуатації можна досягти лише за умови коригування систематичної складової похибки.

На сучасній елементній базі кодовані міри електричних величин легко можна виготовити малогабаритними і переносними [2, 3], тому і контролювання похибок ЗВ можна буде виконувати як завгодно часто безпосередньо на місці експлуатації. Частота здійснення операцій контролювання залежатиме від часового дрейфу метрологічних характеристик конкретного ЗВТ, а результати контролювання можна фіксувати у спеціальному формулярі. На підставі аналізу даних формуляра можна буде робити висновок або про придатність ЗВТ до подальшого використання, або про необхідність його метрологічної перевірки. Звичайно, що під час визначення границь допустимих значень похибок Δ_{x0} ЗВ слід контролювати в робочих умовах експлуатації значення впливних величин та розраховувати відповідні значення додаткових похибок, наприклад, зумовлених відхиленням від нормальних значень температури, відносної вологості та атмосферного тиску, напруги та частоти мережі живлення, напруженості зовнішнього магнітного поля, зовнішніх електричних завад тощо.

Огляд існуючих методів контролювання ЗВТ. У загальному випадку похибка ЗВТ описується багаточленною моделлю [2], причому для переважної більшості промислових ЗВТ можна обмежитися тільки трьома складовими та врахувати окремо часовий дрейф та зміну значень її складових у разі змін параметрів довкілля в робочих умовах експлуатації

$$\Delta_x = \Delta_{x0} + \Delta_{xt} + \Delta_{xp} = \Delta_0 + d_s X + e X^2 + \Delta_{0t} + d_{st} X + e_t X^2 + \Delta_{0p} + d_{sp} X + e_p X^2, \quad (1)$$

де Δ_x – абсолютна похибка ЗВТ в момент часу t в робочих умовах експлуатації, вектор параметрів довкілля яких змінювався як функція часу $\overline{p}_t = F(p, t)$;

$\Delta_{x0} = \Delta_0 + d_s X + e X^2$ – абсолютна похибка ЗВТ в початковий момент часу t_0 (після виконання метрологічної перевірки або градування) в нормальних умовах експлуатації; $\Delta_{xt} = \Delta_{0t} + d_{st} X + e_t X^2$ – зміна абсолютної похибки за час $t-t_0$, який пройшов після проведення метрологічної перевірки або градування за умови роботи ЗВТ в нормальних умовах

експлуатації; $\Delta_{xp} = \Delta_{0p} + d_{sp}X + e_pX^2$ зміна абсолютної похибки за час $t-t_0$, який пройшов після проведення метрологічної перевірки або градування за умови роботи ЗВТ в робочих умовах експлуатації, вектор параметрів довкілля яких змінювався як функція часу $\overline{p}_t = F(p, t)$; $\Delta_0, \Delta_{0t}, \Delta_{0p}$ – відповідно адитивна складова похибки ЗВТ в початковий момент часу t_0 (після проведення метрологічної перевірки або градування) в нормальних умовах експлуатації та її можливі зміни в момент часу t та в робочих умовах експлуатації, вектор параметрів довкілля яких становив $\overline{p}_t = F(p, t)$; d_s, e – мультиплікативний та квадратичний коефіцієнти багаточленної моделі похибки ЗВТ в початковий момент часу t_0 (після проведення метрологічної перевірки або градування) в нормальних умовах експлуатації; d_{st}, e_t, d_{sp}, e_p – відповідно мультиплікативні та квадратичні коефіцієнти багаточленної моделі похибки ЗВТ в момент часу t в робочих умовах експлуатації, вектор параметрів довкілля яких становив $\overline{p}_t = F(p, t)$; X – значення вимірюваної величини.

Аналіз співвідношення (1) показує, що на основі нагромадження та опрацювання (апроксимації) масивів експериментальних даних, за аналогією до методик [2, 3], можливо коригувати часові зміни похибки ЗВТ цього типу. Враховуючи різноманіття впливних факторів, порівняно великі діапазони зміни параметрів довкілля в робочих умовах експлуатації та, особливо, відсутність прогнозової інформації про можливий характер їх зміни, можна зробити висновок про практичну неможливість розроблення загальних методик корекції часових змін похибок ЗВТ в робочих умовах експлуатації на сьогоднішньому рівні розвитку вимірювальної техніки [2, 3]. Однак сучасний рівень розвитку мікроелектронних та інформаційних технологій принципово змінює підхід до структури вимірювального кола ЗВТ, особливо електричних величин та інших фізичних величин, перетворених на електричні сигнали. Насамперед це пов'язано з інтелектуалізацією ЗВТ та можливістю корегувань похибок вимірювального тракту з використанням відомих методів – зразкових сигналів, ітераційного, адитивної та мультиплікативної корекції, допоміжних вимірювань. Як показано вище, реалізація будь-якого з методів підвищення точності пов'язана із використанням у вхідному колі ЗВТ електронних комутаторів, залишкові пара-

метри яких і визначатимуть похибку скорегованих значень результатів вимірювання. Серед усіх складових похибки ЗВТ адитивна складова, як правило, має найбільші значення і найінтенсивніше змінюється як в часі, так і у разі зміни параметрів довкілля. Теоретично також показано, що у разі використання методу комутаційного інвертування скореговане значення адитивної складової похибки, зведене до входу вольтметра, не перевищуватиме (у випадку реалізації перемикача полярності на основі серійних електронних МДН-ключів):

$$\Delta_{0ki} = 2R_x \Delta I_{bk} + (4I_{bk} + I_{bx}) \Delta R_k, \quad (2)$$

де Δ_{0ki} – скореговане значення адитивної складової похибки; $R_x \Delta R_k$ – опір джерела сигналу та максимальна різниця опорів ключів перемикача полярності; $I_{bk}, \Delta I_{bk}$ – максимальні значення відповідно струмів витоку та різниці струмів витоку ключів перемикача полярності (за найнесприятливіших значень параметрів впливних факторів у робочих умовах експлуатації); I_{bx} – максимальне значення вхідного струму ЗВТ.

Багаторічний досвід експлуатації (з 1983 р. і до сьогодні) серійних цифрових приладів типів А565 та ЦР7701 (приладобудівний завод “Мукачівприлад”) показав, що нескореговане значення адитивної складової їх похибки в робочих умовах експлуатації не перевищує декількох десятків мкВ, що й дало змогу взагалі відмовитись від операції ручного встановлення нульових показів приладів. Справді, враховуючи доволі високу швидкодію цифрових ЗВТ порівняно із максимальними градієнтами змін впливних факторів та максимально можливою швидкістю часового дрейфу значень похибки, можна зробити висновок про ефективність використання методу комутаційного інвертування для корекції адитивної складової похибки ЗВТ в робочих умовах експлуатації, при цьому, очевидно, $\Delta_0 = \Delta_{0ki}, \Delta_{0t} = \Delta_{0p} = 0$. Окрім цього, за методом комутаційного інвертування коригуються також парні степені нелінійності загальної функції перетворення ЗВТ і, тим самим, істотно зменшується нелінійна складова похибки (1). Отже, при корекції похибок ЗВТ за методом комутаційного інвертування часова та температурна стабільність промислових приладів в основному визначатиметься тільки стабільністю масштабних елементів. Для достатньо стабільних елементів широкого вжитку гарантований час роботи без калібрувань для приладів типу ЦР7701 становить 5000 год або майже два роки однозмінної їх роботи,

тоді як періодичність метрологічних перевірок – один рік.

Підвищити метрологічну надійність цифрових ЗВТ можна такими традиційними способами, як: використання найстабільнішої елементної бази; використання методу допоміжних вимірювань або конструктивно-технологічних методів усунення впливних факторів довкілля (екранування, термостатування, герметизація тощо). Всі подані шляхи підвищення метрологічної надійності ЗВТ є еволюційними і їх реалізація обмежується сучасними технічними, технологічними та економічними чинниками. Принципово нові можливості відкриваються у випадку використання тільки одного прецизійного і стабільного блока масштабування в ЗВТ, особливо виконаного в інтегральній технології. Як відомо, метрологічні властивості ЗВТ, побудованих на основі компенсаційного або диференційного методів вимірювання, визначаються передусім точністю і стабільністю кодированих мір напруги, які віддавна масово виготовляються. З урахуванням сказаного, для побудови високостабільних цифрових вольтметрів перевагу необхідно віддати диференційному методу побудови з корекцією похибок комутаційним інвертуванням вимірюваної та зразкової напруг. Суть високочутливих диференційних методів вимірювання полягає в знаходженні коду результату вимірювання як алгебричної суми кодів прецизійної та стабільної кодированої міри та коду зваженої різниці вимірюваної та зразкової напруг, що мають приблизно однакові значення [6].

Коригування похибок ЗВТ за допомогою кодированих мір. Значення похибки $\Delta(X, \vec{Q}, \vec{z}, t)$ в загальному випадку залежить від значення X вхідного інформативного сигналу і для її аналізу зручно використовувати багаточленну модель [2, 3]:

$$\Delta_x(X, \vec{Q}, \vec{z}, t) = \Delta_{0x}(\vec{Q}, \vec{z}, t) + d_{sx}(\vec{Q}, \vec{z}, t) \cdot X + e_x(\vec{Q}, \vec{z}, t) \cdot X^2 + \dots, \quad (3)$$

де $\Delta_{0x}(\cdot)$, $d_{sx}(\cdot) \cdot X$, $e_x(\cdot) \cdot X^2$ – відповідно адитивна, мультиплікативна та нелінійна складові похибки.

Коефіцієнти Δ_{0x} , d_{sx} , e_x , ... є випадковими величинами або процесами, які залежать від векторів $\vec{Q}$ параметрів вимірювального кола та $\vec{z}$ факторів похибок, але не залежать від інформативного параметра X . Прийняті методики визначення метрологічної надійності ґрунтуються на статистичному

опрацюванні результатів тривалих експериментальних досліджень достатньо великої вибірки однотипних ЗВ [4, 5]. Проведення таких досліджень доцільне лише для масових ЗВ, відрізняється великою трудомісткістю та не гарантує встановлення факту метрологічної відмови окремого екземпляра ЗВ. Для здійснення оперативного контролювання за перебігом вимірювальних процесів ЗВ, що вже експлуатуються, доцільно використовувати переносні кодировані міри (калібратори) електричних величин [2, 3, 6].

У робочих умовах експлуатації калібратори електричних величин потребують періодичного ручного коригування адитивної складової похибки (АСП), що збільшує трудомісткість метрологічних робіт, а також час їх проведення. Зважаючи на це, калібратори електричних величин доцільно забезпечувати системою автоматичного коригування АСП за методом комутаційного інвертування, як зображено на рис. 1 (умовні позначення: ДОН – джерело опорної напруги; ПП1, ПП2 – перемикачі полярності; КМН – кодирована міра напруги; μ – значення коду керування КМН; U_k – вихідна напруга калібратора).

Завдяки використанню сучасної елементної бази кодировані міри електричних величин легко виготовити малогабаритними і переносними. Тому кодировану міру напруги пропонується реалізувати за схемою рис. 2. Проаналізувавши схему кодированої міри напруги з урахуванням параметрів неідеальності, знайдемо напругу U_k :

$$U_k = \left\{ \left[(E_0 + e_1) \left(1 + \frac{1}{k_1} + \frac{1}{M_1} \right) m \left(1 + \frac{1}{k_2} \right) \right] + e_2 (1 + m) \right\} m_m \left(1 + \frac{1}{k_3} \right) + e_3 (1 + m_m), \quad (4)$$

де e_1 , e_2 , e_3 – напруги зміщення операційних підсилювачів (ОП) ОП1, ОП2, ОП3; k_1 , k_2 , k_3 – коефіцієнти передавання розімкнених операційних підсилювачів; M_1 – коефіцієнт послаблення синфазної складової ОП1; μ , μ_m – коди управління ЦАП1 та ЦАП2 відповідно.

З метою коригування АСП кодированих мір здійснюють за допомогою ЗВТ два вимірювання вихідної напруги калібратора та знаходять середньоарифметичне двох його показів при однойменних (та протилежних) положеннях перемикачів полярності ПП1 та ПП2 калібратора напруги (очевидно, що при цьому кодирована міра напруги повинна бути доповнена перемикачами полярності ПП1 та ПП2, як подано на рис. 1):

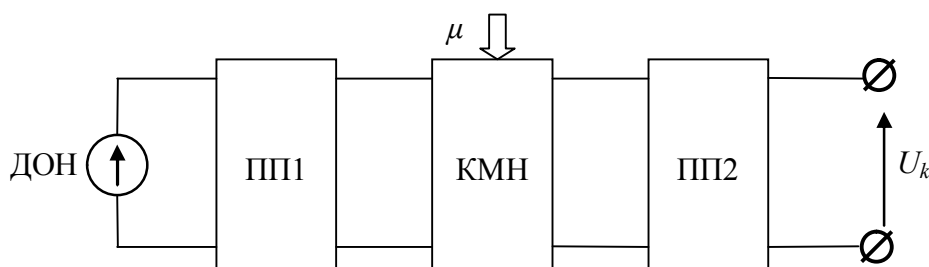


Рис. 1. Структура калібратора напруги з коригуванням адитивної складової похибки методом комутаційного інвертування

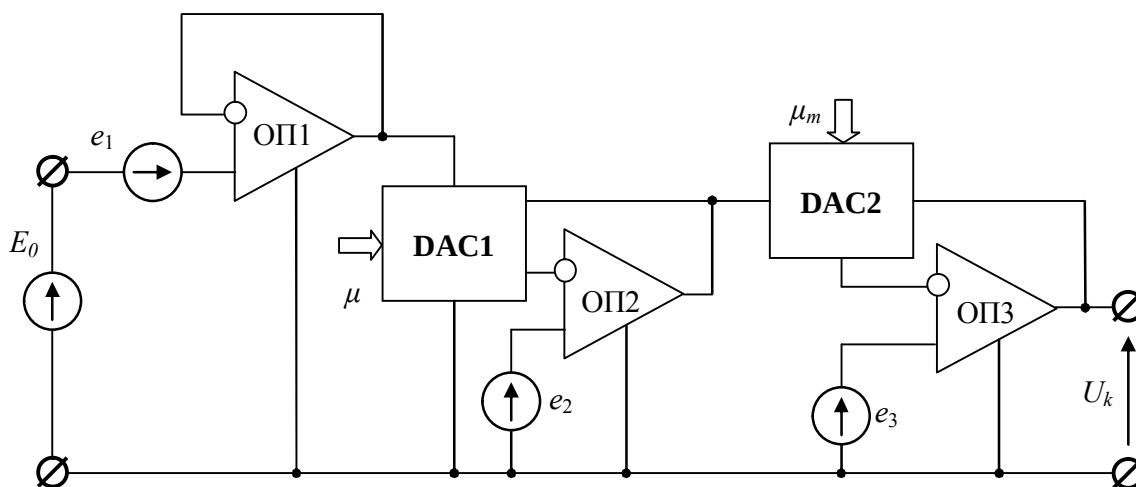


Рис. 2. Кодокерована міра напруги

$$\begin{aligned} U_{k1} &= E_0 \cdot m \cdot m_m \cdot (1 + d_{SM}) + \Delta_{0M} \\ U_{k2} &= E_0 \cdot m \cdot m_m \cdot (1 + d_{SM}) - \Delta_{0M} \end{aligned} \quad (5)$$

де δ_K – мультиплікативна складова похибки (МСП) кодованої міри напруги; μ – код управління DAC1; μ_m – код управління DAC2; Δ_K – АСП кодованої міри напруги. Тоді середнє значення вихідного сигналу калібратора за два цикли перетворення дорівнюватиме

$$U_k = \frac{U_{k1} + U_{k2}}{2} = E_0 \cdot m \cdot m_m \cdot (1 + d_K). \quad (6)$$

Враховуючи практичну незалежність коефіцієнта перетворення помножувальних ЦАП від зміни температури довкілля, пропонуємо використовувати DAC2 для задання одиничного коефіцієнта передавання інвертора напруги на базі ОПЗ (при цьому код управління DAC2 повинен мати незмінне значення $\mu_m = 1/2$ [3, 10, 11]. Цього легко досягти, апаратно задаючи фіксований код управління другим ЦАП.

Здебільшого межі допустимих значень похибки ЗВТ та кодованих мір нормуються двочленними

моделями, відповідно, $Y_X = \Delta_{0X} + k_H (1 + d_{SX})$,

$U_k = \Delta_{0M} + m_m m_{1H} E_0 (1 + d_{SM})$. Тоді, за умов, що за час проведення вимірювань і робочі умови експлуатації, і похибки ЗВТ та калібратора напруги залишаються незмінними, для визначення похибки ЗВТ необхідно провести всього чотири вимірювання при двох значеннях вихідного сигналу калібратора та опрацювати їх результати:

$$\begin{aligned} Y_{11} &= \Delta_{0K} + k_H (1 + d_{SX}) [\Delta_{0M} + m_m m_{1H} E_0 (1 + d_{SM})] \\ Y_{12} &= \Delta_{0K} + k_H (1 + d_{SX}) [-\Delta_{0M} + m_m m_{1H} E_0 (1 + d_{SM})] \\ Y_{21} &= \Delta_{0K} + k_H (1 + d_{SX}) [\Delta_{0M} + m_m m_{2H} E_0 (1 + d_{SM})] \\ Y_{22} &= \Delta_{0K} + k_H (1 + d_{SX}) [-\Delta_{0M} + m_m m_{2H} E_0 (1 + d_{SM})] \end{aligned} \quad (7)$$

де Y_{11} , Y_{12} – покази ЗВТ за вихідних напруг U_{K11} та U_{K12} калібратора та встановлення номінального значення коду керування m_{1H} ; Y_{21} , Y_{22} – покази ЗВТ при вихідних напругах U_{K21} та U_{K22} калібратора та встановленні номінального значення коду керування m_{2H} ; Δ_{0X} , Δ_{0K} – АСП ЗВТ, відповідно, в робочих умовах експлуатації

та під час калібрування; Δ_{0M} – АСП кодокерованої міри; k_H – номінальний коефіцієнт перетворення ЗВТ; δ_{SX} , δ_{SK} – коефіцієнти мультиплікативної складової похибки (МСП) ЗВТ, відповідно, в робочих умовах експлуатації та під час калібрування; δ_{SM} – коефіцієнт мультиплікативної складової похибки кодокерованої міри (калібратора напруги); E_0 – значення напруги ДОН; m_{1H} , m_{2H} – номінальні значення кодів керування кодокерованої міри у разі встановлення значень вихідної напруги U_{K1} та U_{K2} .

Розв'язавши систему рівнянь (7), можна визначити адитивну і коефіцієнт мультиплікативної складових похибки промислового вимірювача напруги:

$$\Delta_{0K} = Y_{11} - \frac{Y_{11} - Y_{12}}{2} - \frac{(Y_{11} + Y_{12}) - (Y_{21} + Y_{22})}{2} \cdot \frac{m_1}{m_2 - m_1}, \quad (8)$$

$$1 + d_{SK} \approx \frac{(Y_{11} + Y_{12}) - (Y_{21} + Y_{22})}{2k_H E_0 (m_2 - m_1)}. \quad (9)$$

Значення кодів керування для першого ЦАП DAC1 можна достатньо просто забезпечити апаратним заданням потрібних значень кодів керування m_{1H} , m_{2H} . Як показує аналіз формул (8) і (9), на підставі використання методу комутаційного інвертування досить просто визначаються АСП і МСП вимірювачів напруги в робочих умовах експлуатації. Ці значення надалі можуть використовуватись як поправки для знаходження результату вимірювання за допомогою каліброваного ЗВТ

$$Y_X = (\Delta_{0X} - \Delta_{0K}) + k_H \frac{1 + d_{SK}}{1 + d_{SK}} X. \quad (10)$$

Як показує аналіз співвідношення (10), після здійснення оперативного калібрування ЗВТ на місці експлуатації значення як АСП, так і МСП визначатимуться тільки їх змінами в разі зміни умов довкілля, тобто, фактично, тільки додатковими складовими похибки. Зазвичай межі допустимих значень додаткових складових похибки ЗВТ в декілька разів менші від межі допустимих значень основної похибки, тому й в найгіршому випадку після оперативного калібрування можна у декілька разів зменшити як АСП, так і МСП ЗВТ на місці експлуатації.

Аналіз сучасної елементної бази показує можливість практичної реалізації запропонованого способу оперативного калібрування вимірювачів напруги на місці експлуатації [12, 13].

Висновки

1. У статті запропоновано контролювати промислові вимірювачі напруги на місці експлуатації за допомогою переносних прецизійних кодокерованих мір напруги (калібраторів напруги).

2. Розроблено структуру засобу калібрування вимірювачів напруги з коригуванням його адитивної складової похибки за методом комутаційного інвертування шляхом опрацювання результатів перетворень, отримуваних за допомогою власне каліброваного засобу вимірювальної техніки.

3. Після проведеного опрацювання результатів проміжних перетворень за методом комутаційного інвертування та лише для двох значень калібрувальної напруги достатньо легко увести поправки до одержаних результатів вимірювань напруги в робочих умовах експлуатації.

4. Показано, що у найгіршому випадку скориговане значення похибки можна зменшити у декілька разів.

1. ISO 10012:2003 *Measurement management systems / Requirements for measurement processes and measuring equipment*. 2. *Метрологія та вимірювальна техніка: підручник* / С.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук та ін.; за ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2012. – 544 с. 3. *Методи підвищення точності вимірювань: підручник* / В.О. Яцук, П.С. Малачівський. – Львів: Бескид Біт, 2008. – 368 с. 4. Новицький П.В., Зозграф І.А., Лабунец В.С. *Динамика погрешностей средств измерений*. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с. 5. Яцук В.О. *Принципи побудови кодо-керованих мір опору // Вимірювальна техніка та метрологія*. – 1999. – № 55. – С. 35–43. 6. Лилак В.І., Столярчук П.Г., Яцук В.О. *Переносні багатозначні калібратори для перевірки температурних каналів технічних систем на місці експлуатації // Вісник Харківського політехнічного університету «Системний аналіз, управління та інформаційні технології»*. – 1999. – № 71. – С. 94–96. 7. Фридман А.Э. *Теория метрологической надежности средств измерений // Измерительная техника*. – 1991. – № 11. – С. 3–10. 8. Екимов А.В., Ревяков М.И. *Надежность средств измерительной техники*. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 320 с. 9. Яцук В. *Підвищення метрологічної надійності засобів*

вимірювань у робочих умовах експлуатації // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2002. – № 60. – С. 98–102. 10. Федорков Б.Г., Телец В.А., Дегтяренко В.П. Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи. – М.: Радио и связь, 1984. – 320 с. 11. Пейтон А. Дж., Воли В. Аналоговая элект-

роника на операционных усилителях: пер. с англ. – М.: БИНОМ, 1994. – 352 с. 12. Каталог ELFA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.Elfaelektronika.com>. 13. Каталог виробів фірми Analog Device [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.analog.com>.

УДК 621.396

ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ, ПЕРЕВІРКИ ТА АТЕСТАЦІЇ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НА БАЗІ ЕТАЛОННОГО ЯДЕРНО-КВАДРУПОЛЬНОГО ТЕРМОМЕТРА ПЕРШОГО РОЗРЯДУ ЯКРТ-5М

© Леновенко Анатолій¹, Стадник Богдан², Столярчук Петро², Паракуда Василь³, Ковальчук Надія¹, 2013

¹Львівський національний університет ім. І.Франка, Львів, Україна

²Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна

³ДП “Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем”, Львів, Україна
nadiakoval1@gmail.com

На основі ядерно-квадрупольного термометра ЯКРТ-5М розроблено автоматизований вимірювальний комплекс для калібрування, перевірки і атестації засобів вимірювання температури з високою точністю. Він дає змогу у 10 і більше разів підвищити продуктивність праці під час виконання метрологічних робіт.

На основе ядерно-квадрупольного термометра ЯКРТ-5М разработан автоматизированный измерительный комплекс для калибровки, проверки и аттестации средств измерения температуры с высокой точностью. Он позволяет в 10 и более раз поднять производительность труда при выполнении метрологических работ.

Based on the nuclear quadrupole thermometer YAKRT-5M developed automated measuring system for calibration, inspection and certification of temperature measurement with high accuracy. It allows you to more than 10 times to raise productivity when performing metrological work.

Вступ. Науково-технічною основою забезпечення єдності вимірювань у державі, що сприяє покращенню науково-технічної та виробничої сфер економіки (особливо в машинобудуванні та приладобудуванні), є еталонна база. Значна кількість різних засобів вимірювальної техніки, що використовуються в усіх галузях економіки, потребує постійного вдосконалення технічної бази, зокрема еталонів, що належать до сфери діяльності Держспоживстандарту, Національного космічного агентства, МОН, Міноборони, НАН України.

Розвиток науки і техніки потребує постійного оновлення еталонної бази, сприяючи створенню принципово нових засобів, приладів, комплексів тощо.

Один із основних шляхів у галузі забезпечення єдності вимірювань температури ґрунтується на використанні похідних фіксованих точок інтерполяційних

термометрів. Він призвів до створення практичних температурних шкал. Засади дії таких термометрів ґрунтуються на використанні емпірично встановлених залежностей будь-яких властивостей термометричної субстанції від температури. У цьому випадку пропонуємо використати залежність частоти ядерного квадрупольного резонансу від температури, що реалізована у створеному еталонному засобі вимірювання температури.

Мета роботи. На основі останнього вперше в Україні та в Європі створено вимірювальний комплекс для калібрування, перевірки та атестації засобів вимірювання температури на базі цифрового еталонного ядерно-квадрупольного термометра першого розряду ЯКРТ-5М.

Експериментальна частина. Вимірювальний комплекс (рис. 1) складається з таких засобів вимірювання, відтворення і регулювання температури:

- еталонний ядерно-квадрупольний резонансний термометр першого розряду ЯКРТ-5М;
- пристрій з ампулою для відтворення реперної температурної потрійної точки води за МТШ-90;
- рідинні термостати та повітряні термокамери з тепловими фільтрами;
- ультракріостат для відтворення низьких температур у діапазоні від 93 К до 243 К.

1. Еталонний ядерно-квадрупольний резонансний термометр першого розряду ЯКРТ-5М розробив колектив авторів, виготовило ТзОВ НВЦ "Метрологія" (м. Львів) і атестував ННЦ "Інститут метрології" (м. Харків). На сучасному етапі розвитку термометрії його вважають одним із найточніших і найстабільніших контактних термометричних засобів [1–4].

Принцип дії ґрунтується на використанні фізичного явища на квантовому рівні – ядерно-квадрупольному резонансі (ЯКР), частота якого за жорсткої

герметизації чутливого елемента з магнітним пермагнетитним екраном залежить тільки від температури і не залежить від інших зовнішніх факторів. Ця залежність є фізичною властивістю кристалічної ґратки речовини (сенсора) і для хімічно стійких матеріалів, в яких спостерігається ядерно-квадрупольний резонанс, характеризується високою стабільністю відтворення неперервної номінальної температурної характеристики протягом всього періоду експлуатації. Сенсор ЯКР-термометра, одноразово відградуваний, не потребує періодичних перевірок і калібрувань.

Ядерно-квадрупольний резонансний термометр ЯКРТ-5М не має аналогів в Україні та Європі. Прилад належить до нестандартного обладнання і призначений для застосування як еталонний засіб для калібрування, перевірки і атестації засобів вимірювання температури з високою точністю в метрологічних центрах та метрологічних службах підприємств. Термометр ЯКРТ-5М забезпечує відтворення одиниці температури з середньоквадратичним відхиленням (S) 0,001 К з неусуненою систематичною похибкою (θ) не вище за $\pm 0,003$ К.



Рис. 1. Загальний вигляд вимірювального комплексу

Умови експлуатації:

- температура навколишнього середовища від 15⁰С до 30⁰С;
- відносна вологість – (60 ± 20)%;
- атмосферний тиск – (750 ± 30) мм рт. ст;

Технічні характеристики:

- діапазон вимірювання – [77 ÷ 400] К.
- основна абсолютна похибка вимірювання – ± 1 мК.
- роздільна здатність дисплею – 1 мК.

- | | |
|------------------------------|-----------|
| – показник теплової інерції | – 20 с. |
| – діаметр чутливого елемента | – 16 мм. |
| – довжина зонда сенсора | – 330 мм. |

Прилад складається з виносного сенсора з детектором ядерного квадрупольного резонансу і блока аналого-цифрової обробки сигналів з цифровим дисплеєм та інтерфейсом зв'язку із зовнішнім комп'ютером. Управління процесом вимірювання, математичну обробку результатів виконує однокристальний мікроконтролер. Термометр оснащений внутрішнім частотоміром з термокомпенсованим і термостатованим опорним кварцовим генератором ГК-21ТК з номінальною частотою 10 МГц і стабільністю протягом року 10^{-7} . У приладі також передбачена можливість роботи із зовнішнім опорним сигналом номіналом 10 МГц.

Прилад обладнаний пристроєм програмної розгортки за діапазоном температур. Передбачено також ручний режим встановлення необхідного діапазону вимірювань за допомогою пакетного перемикача, якщо автоматику не можна використати з певних причин. Зміна результату індикації під час вимірювання відбувається з періодом 5 с.

З метою автоматизації процесу вимірювання, покращення точності формування сигналів для керування зовнішніми пристроями і зв'язку з комп'ютером розроблений спеціалізований інтерфейс, вмонтований в ядерно-квадрупольний термометр. Завданням його є формування коду інформаційної частоти, що видає внутрішній частотомір ЯКР-термометра, і передавання сигналу в комп'ютер для статистичної та математичної обробки результатів вимірювань з індикацією на моніторі та архівування. Для передачі даних у комп'ютер використано USB інтерфейс. Для спрощення

написання програмної частини USB модуль мікроконтролера PSoC (Programmable System-On-Chip) сконфігуровано для реалізації стандартного класу комунікаційного пристрою (Communication Device Class – CDC), а саме віртуального COM-порта. Такий підхід дає змогу використовувати наявне програмне забезпечення комп'ютера для відображення даних, наприклад, стандартний Hyper Terminal і не вимагає написання спеціального драйвера для USB пристрою. Водночас зберігаються всі переваги передачі даних USB інтерфейсу, такі як висока швидкість і простота апаратної частини.

Програма-інтерфейс для ЯКР-5М складається з двох частин: власне програми та драйвера, який забезпечує зв'язок між ЯКР-термометром та операційною системою. Програма розрахована на роботу у середовищі Windows з використанням бібліотеки Net 2.0.

Після під'єднання ЯКР-термометра до комп'ютера прилад автоматично ідентифікується і починається передача даних. Всі вимірювання автоматично зберігаються у файлі Log.txt у папці програми. Однією з функцій програми є статистична обробка результатів протягом періоду вимірювання, що задав оператор. Результат усереднення та обчислене середньоквадратичне відхилення (СКВ) виводиться на дисплей (рис. 2).

Результати вимірювань зберігаються у файлі з даними усереднення за періодами. В кінці файла подається підсумкова інформація, яка автоматично запам'ятовується у файлі AutoSave.txt у папці програми.

2. Рідинний термостат серії UN4 (Німеччина).

Технічні характеристики:

- | | |
|----------------------------------|--|
| – діапазон термостатування | – (213,15 ÷ 323,15) К; |
| – градієнт температури по об'єму | – $\pm 0,01$ К (з мідним тепловим фільтром $\pm 0,001$ К). |

3. Повітряні термокамери Міні Сабзеро MC-71 (Японія).

Технічні характеристики:

- | | |
|--|---|
| – діапазон термостатування | – (193,15 ÷ 373,15) К; |
| – стабільність підтримання температури | – $\pm 0,5$ К; |
| – температурний градієнт по об'єму | – ± 1 К (з тепловим фільтром $\pm 0,01$ К); |
| – розмір внутрішньої камери | – 40 x 40 x 40 см; |
| – місткість внутрішньої камери | – 64 л; |
| – обладнана програмним керуванням. | |

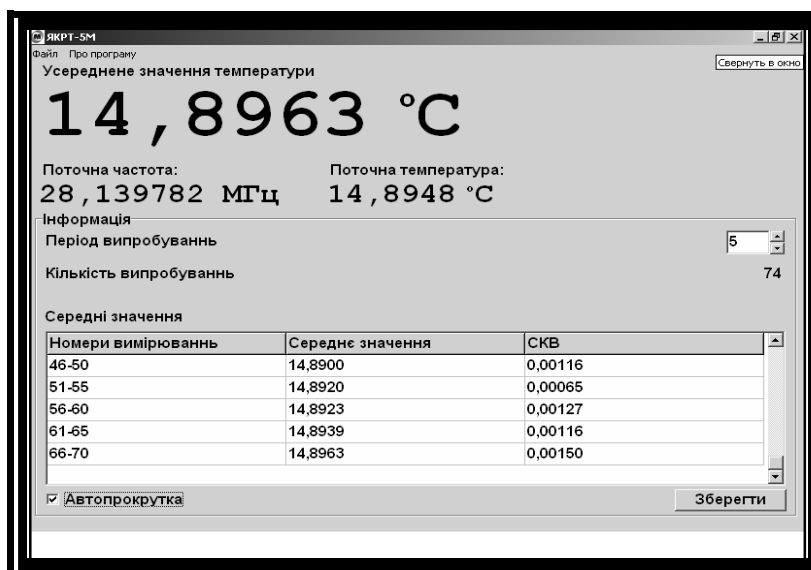


Рис. 2. Вигляд програми на дисплеї комп'ютера

4. Ультракріостат для відтворення низьких температур (Тип № 180, Німеччина).

Технічні характеристики:

- діапазон відтворення температури:
 - у повітряному середовищі – від 93,15 К до 243,15 К;
 - у рідкому електроліті – від 123,15 К до 233,15 К
 (з дифторидхлорметаном (R12) як контактною рідиною);
- точність підтримання:
 - у повітряному середовищі – ± 2 К;
 - у рідкому електроліті – ± 1 К;
 (у разі застосування теплового фільтра точність зростає на порядок);
- холодоагент – рідкий азот (точка кипіння 78,15 К);
- камера підтримання температури – скляна посудина Дьюара об'ємом 5 л.

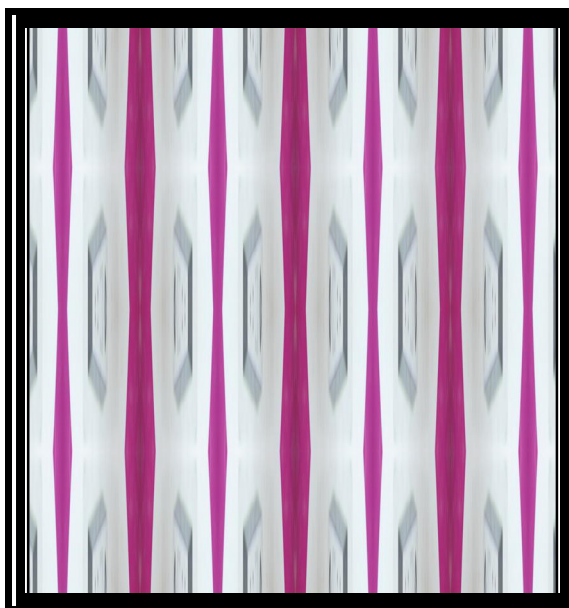


Рис. 3. Ультракріостат для відтворення низьких температур

Висновки. Створено автоматизований вимірювальний комплекс для калібрування, перевірки та атестації засобів вимірювання температури з високою точністю на базі ядерно-квадрупольного термометра ЯКРТ-5М, який дає змогу підвищити продуктивність праці під час виконання метрологічних робіт в десятки разів порівняно з традиційними, в яких застосовуються платинові термоперетворювачі та реперні температурні точки.

1. *NQR standard Thermometer (model 2571)* // *Catalog Yokogawa Electric Works*. –1983. 2. Ohte A., Iwaoka Y. *A Precision on Nuclear Quadrupole Resonance Thermometer* // *IEEE, Trans. on Instrum. and Measurem.* –1976.–Vol. IM-26, № 14. –Р. 357–362. 3. *Еталонний ядерно-квадрупольний резонансний термометр ЯКРТ-5М.* – [Електронний ресурс]: Інноваційне підприємство: Львів, Україна. – Режим доступу: <http://cstei.lviv.ua/ua/item/161>. 4. Леновко А.М. и др. *Квадрупольный ядерный термометр: авт. свид. № 979896 (СССР).* – Опубл. 07.12.82. – Бюл. № 45.

ПРОБЛЕМИ ВИМІРЮВАНЬ В НАРОДНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

УДК 006.063:656.13

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ РЕАКЦІЇ ВОДІЯ ЯК ЕЛЕМЕНТА УНИКНЕННЯ АВАРІЙ НА ДОРОГАХ[©]

© Петренко Олена, 2013

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розглянуто показники простої та складної рухової реакції на рухомий об’єкт водіїв автомобільного та електротранспорту в різний час робочого дня, їх значення для безпеки дорожнього руху, пошуку засобів та найефективніших методик для скорочення латентного періоду рухової реакції людини.

Рассмотрено показатели простой и сложной двигательной реакции водителей автомобильного и электротранспорта в разное время рабочего дня, их характеристик для безопасности дорожного движения, поиска средств и наиболее эффективных методик для сокращения латентного периода двигательной реакции человека.

The article is devoted the study of indexes outages and difficult motive reaction on the mobile object of drivers motor-car and to electrotransport in different time of working day, their value for safety of travelling motion, search of facilities and most effective methods for reduction of latent period of motive reaction of man.

Постановка проблеми. У професійній діяльності водії автомобільного транспорту стикаються з необхідністю швидко й адекватно реагувати на подразники, що очікуються або раптово виникають на дорогах. Від часу реагування водія на подразник залежить не тільки цілісність автотранспортного засобу і вантажу, але і життя людей, що потрапляють у дорожньо-транспортні пригоди (ДТП).

Це питання найбільше актуалізувалось у наш час, коли законодавчими актами створюються умови для збільшення швидкості руху як на дорогах міст, так і за їх межами. Так, відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 5.03.2009 р. керівництво Державної автомобільної інспекції (ДАІ) постановило, що легкові автомобілі можуть рухатися по населених пунктах зі швидкістю максимум 60 км/год. На окремих вулицях (у м. Києві, наприклад, їх налічується 15) дозволяється рухатися зі швидкістю до 80 км/год. Водночас, відповідно до вимог частини 1 статті 122 Кодексу України про адміністративні правопорушення, відповідальність водія за порушення швидкісного режиму у вигляді

накладення штрафу настає тільки у випадку перевищення ним встановленої швидкості руху більш ніж на 20 км/год. Це означає, що за максимально дозволеної швидкості руху автомобільного транспортного засобу 60 км/год водія не мають права оштрафувати, якщо він їде 79 км/год. Такі самі норми перевищення швидкості руху стосуються і ділянок доріг, де максимальна швидкість встановлена 130 км/год. Зрозуміло, що в умовах високої швидкості та щільності руху автомобільного транспорту на дорогах України питання уникнення ДТП, великою мірою, залежить від швидкості рухової реакції водія, його здатності у найкоротший термін часу прийняти правильне рішення і відповісти на нього певною дією.

Аналіз досліджень і публікацій. У прикладній психології руховою реакцією називають процес, що розпочинається зі сприйняття інформації і закінчується з початком руху-відповіді [1, 4]. Весь процес рухової реакції складається з п’яти компонентів (сприйняття подразника рецепторами, передавання сигналів від

рецепторів до відділів центральної нервової системи (ЦНС), обробку отриманої інформації ЦНС, передачу сигналу-відповіді м'язам, збудження м'язів з їх подальшим скороченням і цілеспрямованим рухом). Розрізняють просту і складну рухову реакції. Проста рухова реакція – це здатність людини швидко відповісти обумовленим рухом на заздалегідь відомий сигнал (наприклад, гальмування автомобіля на жовтий чи червоний сигнали світлофору). Складна рухова реакція – це здатність людини якнайшвидше формувати адекватну відповідь в умовах дефіциту часу і простору (наприклад, під час виникнення на дорозі загрозової ситуації швидко виконати одну з декількох правильну рухову дію). З професійного погляду для водія автотransпортного засобу найважливішим показником є складна рухова реакція [5, 6].

За даними Ю.В. Верхошанського [3] алгоритм методики розвитку простої рухової реакції складається з таких етапів: оволодіння структурою моторного компонента рухової реакції-відповіді; покращення латентного часу реагування у неспецифічних умовах; комплексне вдосконалення латентного періоду рухової реакції у варіативних умовах простору, часу, зміни виду подразника та сили його впливу. Найхарактернішими методичними положеннями, що використовуються в цьому процесі, є: реагування виконувати з максимально можливою швидкістю; концентрувати увагу на швидкому початку руху-відповіді, а не на сприйнятті сигнального подразника (дає змогу скоротити латентний період реагування); кількість повторних реагувань у одній серії повинна бути такою, щоб у чергових спробах не було тенденції до збільшення часу реагування; змінювати характер та силу сигнального подразника (зорового, слухового, тактильного); надавати виконавцям завдань термінову інформацію щодо фактичного часу реагування тощо.

Дослідженнями В.М. Вайцеховського [2] встановлено, що із загального часу складної рухової реакції на рухомий об'єкт (0,25–1,00 с) понад 80 % припадає на зорове сприйняття, тобто на збудження у зоровому аналізаторі й передачу імпульсів до ЦНС, і лише 0,05 с – на формування зворотного сигналу. Тому на початкових етапах роботи над розвитком реакції на рухомий об'єкт основну увагу треба зосереджувати на зменшенні часу розпізнавання та фіксації у полі зору об'єкта реагування [5]. Саме цю здатність необхідно

формувати в процесі оволодіння певними професійними навичками.

Надалі для зменшення часу складної рухової реакції акцент переноситься на вдосконалення просторових та часових відчуттів стосовно вірогідних переміщень об'єкта в умовах дефіциту простору і часу. Найхарактернішими положеннями, якими необхідно користуватися при цьому, є: зміна величини рухомого об'єкта; зміна швидкості руху об'єкта; зменшення відстані до рухомого об'єкта; реагування на об'єкт, що з'являється несподівано тощо.

Найефективнішими для зменшення часу складної рухової реакції є вправи на тренажерах з терміною зворотною інформацією. Сучасні тренажери на основі персональних комп'ютерів дають змогу моделювати різноманітні ситуації професійної діяльності водія і створювати програми різної складності за кількістю альтернатив, силою та різноманітністю подразників, швидкістю зміни ситуацій тощо. Це дає водію змогу аналізувати свої суб'єктивні відчуття у різних спробах і раціональніше реагувати у подальшому.

Показники простої та складної реакції водія автотransпортного засобу залежать від багатьох чинників, серед яких особливо виділяється стан втоми. Специфіка роботи водія автотransпортного засобу пов'язана з тривалими навантаженнями, які і викликають появу цього стану. Стан появи втоми у водіїв виникає, переважно, за наявності емоційного фактора (монотонність роботи, сильні переживання тощо), напруги сенсорних систем (тривала збудженість зорового та слухового аналізаторів), фізичного навантаження (тривале статичне напруження м'язів тіла). Велике значення на появу і розвиток втоми організму водія, як показали наші попередні дослідження, відіграють також вібрація, шум і загазованість навколишнього середовища.

Мета дослідження. Метою дослідження є зменшення аварій на дорогах за рахунок покращення часу складної рухової реакції водіїв автомобільного та електротransпорту та використання засобів відновлення стану організму впродовж робочого дня.

Виклад результатів дослідження. Дослідження з вивчення показників латентного періоду простої та складної рухової реакції проводились протягом вересня та жовтня 2012 р. за участі двох докторів тех-

нічних наук, кандидата технічних наук, здобувача наукового ступеня кандидата технічних наук та 64 професійних водіїв, серед яких – 12 водіїв трамваїв і тролейбусів тролейбусного та трамвайного депо ЛКП “Львівелектротранс”; 25 водіїв маршрутних таксі (міських та міжміських маршрутів); 17 водіїв легкових таксі; 10 водіїв вантажних транспортних засобів. Вік водіїв становив від 24 до 52 років. Дослідження, що тривали повний робочий день і проводились за допомогою стандартної комп’ютерної програми, показали наявність розбіжностей серед представників цієї професії залежно від віку, стажу роботи за спеціальністю і навіть виду автомобільного транспорту, на якому здійснюється трудова діяльність. Середні показники латентного періоду простої рухової реакції у водіїв дорівнювали $0,29 \pm 0,08$ с. У водіїв, що працюють на трамваях і тролейбусах, показники простої рухової реакції майже не відрізнялись і дорівнювали $0,31 \pm 0,1$ с. Дещо нижчими були ці показники у водіїв, що працюють на вантажних транспортних засобах – $0,32 \pm 0,12$ с. Найвищі показники простої рухової реакції спостерігались у водіїв маршрутних і легкових таксі – $0,26 \pm 0,12$ с. Такі розбіжності у показниках простої рухової реакції між представниками водійської професії можна пояснити комфортнішими умовами роботи у водіїв маршрутних і легкових таксі, менш сильним впливом на їх організм вібрації, наявністю різного рівня втоми після робочого дня, біологічного віку тощо. Аналогічна тенденція спостерігалась під час аналізу показників складної рухової реакції, середні показники якої у представників водійської професії становили $0,41 \pm 0,16$ с. Час складної рухової реакції водіїв трамваїв і тролейбусів дорівнював $0,43 \pm 0,09$ с, вантажних транспортних засобів – $0,42 \pm 0,11$, маршрутних і легкових таксі – $0,38 \pm 0,09$ с. Порівнюючи показники часу простої рухової реакції водіїв різних транспортних засобів із середніми даними у професії, зазначимо, що латентний період у водіїв електротранспорту і вантажних транспортних засобів мав тенденцію до збільшення відповідно на 6,9 % і 10,3 %. Водночас у водіїв маршрутних і легкових таксі показники простої рухової реакції були меншими за середні показники всіх транспортних засобів на 10,3 %. Порівнюючи показники складної рухової реакції водіїв різних транспортних засобів із середніми значеннями у професії, спостерігаємо зростання латентного періоду

у водіїв електротранспорту на 4,9 %, вантажних транспортних засобів – на 2,4 %. У водіїв маршрутних і легкових таксі зафіксовано зменшення часу складної рухової реакції, порівняно з середніми показниками, на 7,3 %.

Наприкінці робочого дня показники складної рухової реакції у водіїв усіх видів транспортних засобів, порівняно з даними перед початком роботи, мали стійку тенденцію до погіршення. Так, у водіїв маршрутних таксі час складної рухової реакції збільшився на 12,3 %, водіїв легкових таксі – на 5,7 %, водіїв електротранспортних засобів – на 8,9 %, водіїв вантажних автомобілів – на 7,6 %. Таке погіршення результатів складної рухової реакції водіїв різних транспортних засобів є свідченням загальної втоми організму, яка накопичувалася поступово впродовж всього робочого дня.

Отримані результати дослідження є підставою для пошуку засобів і заходів зниження рівня втоми організму водіїв у процесі робочого дня, а також підвищення у них рівня розвитку швидкості реакції на рухомий об’єкт за допомогою комп’ютерних технологій.

Висновки

1. Час простої та складної рухової реакції водіїв автомобільного та електротранспорту є одним з важливих показників, від яких залежить безпека людей і вантажу на дорогах, загроза виникнення ДТП.

2. Отримані середні показники простої та складної рухової реакції на рухомий об’єкт водіїв різних транспортних засобів. Значення цих показників істотно залежить від віку, стажу роботи за спеціальністю і виду транспорту, на якому здійснюється трудова діяльність.

3. Найефективнішими для зменшення часу складної рухової реакції є вправи на тренажерах з терміною зворотною інформацією. Сучасні тренажери на базі персональних комп’ютерів дають змогу моделювати різноманітні ситуації професійної діяльності водія і створювати програми різної складності за кількістю альтернатив, силою та різноманітністю подразників, швидкістю зміни ситуацій, що виникають на дорогах.

1. Єрмаков Ф. *Определение времени реакции водителя на опасность.* – [Електронний ресурс] // *Электронная база данных информационной системы*

- “Параграф”. – Режим доступу: http://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1025957. 2. Раманов Н. Р. Авто-транспортная психология : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Александр Николаевич Романов. – М. : Издательский центр «Академия», 2002. – 224 с. 3. Бойко Е.И. Время реакции человека. – М.: Медицина, 1964. – 440 с. 4. Вайцеховский С.М. Книга тренера. – М.: ФиС, 1971. – 311 с. Верхошанский Ю.В. Основы специальной физической подготовки спортсменов. – М.: ФиС, 1988. – 331 с. 6. Гринберг Дж. Управление стрессом. – СПб.: Питер, 2002. – 496 с. 7. Линець М.М. Основы методики розвитку рухових якостей. – Львів: Штабар, 1997. – 208 с. 8. Толочек В.А. Современная психология труда: учеб. пособие. – СПб.: Питер, 2006. – 408 с. 9. Сопільник Л.І. Розвиток теорії та засад формування нормативної бази безпеки дорожнього руху. – Львів: Видавництво Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2012. – 381 с.

УДК 621.396.96

ЛЮДИНА В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ ПОЛІ ВСЕСВІТУ

© Сопільник Любомир, 2013

Національний університет “Львівська політехніка”

Розглянуто людину в енергетичному полі Всесвіту. Універсальними носіями інформації на всіх рівнях ієрархії біосфери і космічного середовища є електромагнітні поля.

Рассмотрен человек в энергетическом поле Вселенной. Универсальными носителями информации на всех уровнях иерархии биосферы и космической среды являются электромагнитные поля.

In the article the man in the energy field of the universe. Universal storage medium at all levels of the hierarchy of the biosphere and space environment are electromagnetic fields.

Вступ. Магнетизм Землі давно цікавив людство як явище (для пізнання фізичних та космогонічних процесів) і у зв'язку з великим практичним значенням поля (у морській і повітряній навігації, розвідці земних надр, у радіозв'язку, у космічній навігації тощо). Поряд із астрономіко-геофізичними та технічними аспектами геомагнетизму і магнетизму взагалі останнім часом все більшого значення набуває ще один – біологічне значення геомагнітного поля.

Мета. Дослідження впливу електромагнітних полів на людину.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У 30-ті роки В. І. Вернадський сформував учення про біосферу, яка виникла й еволюціонує як закономірна частина Всесвіту. Зовнішніми і внутрішніми носіями інформації, яка перебуває у космічному оточенні, на всіх рівнях організації є електромагнітні поля від надвисоких до наднизьких частот. Цю гіпотезу далі розвивав А. Л. Чижевський, який вважав, що вся

складна система біологічних процесів на Землі повинна розглядатися як єдиний цілий організм. Геометричне сполучення різномасштабних обертальних рухів утворює, як правило, еліптичну, параболічну і гіперболічну системи електромагнітних силових ліній, що об'єднані деформаційними кінематичними лініями. Силкові лінії у просторі – це вихорні нитки, вихорні трубки і спіралі. Інтеграл швидкості від багатьох вихорів, які входять в об'єм, утворює циркуляцію поля по зовнішньому і внутрішньому об'єму, що розглядається. Відбиття деформаційних силових полів існують всюди, зокрема і в біологічних системах.

Виклад основного матеріалу. Живу природу слід розглядати як ієрархію форм і функцій – молекулярних, клітинних, усього організму, надорганізму і біосфери загалом. В живому організмі ми спостерігаємо алгоритм не тільки будови, але і функцій. Ця структурно-функціональна організація визначає характер взаєморозташування і взаємозв'язку субсистем і елементів організму, його здатність відтво-

рюватися, розвиватися і функціонувати в організованому середовищі – біосфері. Структурно-функціональна організація організму є частиною організованої біосфери, де і треба шукати критерій живого [1].

Можна припустити, що універсальними носіями інформації на всіх рівнях ієрархії біосфери і космічного середовища є електромагнітні поля (ЕМП), – від надвисоких до інфранизких частот. Цей висновок випливає із емпіричних узагальнень, які свідчать про інформаційний вплив ЕМП Землі на процеси життєдіяльності всіх організмів і про наявність інформаційних зв'язків завдяки ЕМП всередині організмів і між ними. З іншого боку, встановлено залежність параметрів ЕМП Землі від сонячної активності та інших космічних процесів. Можна зробити висновок, що сприйняття біосферою інформації у вигляді радіохвиль всього діапазону і є основою її будови за принципами космічної організованості.

Сьогодні в науках про природу відбувається важливий процес застосування методів одних наук у інших і синтетичне об'єднання різних наук загалом. Отже, все щільніше пов'язуються між собою математика, фізика, хімія, біологія... Але є такі галузі наук, куди з великими перешкодами проходять промені цього синтезу, адже органічний світ нібито відірваний від природи, поставлений над нею і ззовні неї. Деякі науки ще відстоюють свою незалежність. Але зростає паростки великих узагальнень майбутнього. Вважалося, що живе перестає бути реальністю, стає абстракцією. Але ця догма завжди руйнується лише тоді, коли відбуваються стихійні лиха, світові катаклізми. Чомусь тільки тоді, коли мільйони людей гинуть під розпеченою лавою, у хвилях океану, через землетруси, в автомобільних катастрофах, ми починаємо усвідомлювати мізерність своєї фізичної організованості перед фізичними силами природи.

Разом з тим, віками і тисячоліттями живе пов'язане з усією навколишньою природою мільйонами непомітних, невлесних зв'язків. Кожний атом живої матерії перебуває у постійному і двосторонньому контакті з коливаннями атомів навколишнього середовища – природи, і сама жива клітина є найчутливішим апаратом, який реєструє всі явища світу і відгукується на них відповідними реакціями усього організму.

Фізико-хімічні процеси, які проходять в навколишньому середовищі, викликають відповідні зміни у фізіології живого організму, відбиваються на його

серцево-судинній, нервовій діяльності та психіці і, нарешті, на його поведінці. Так, коливання атмосферного тиску, вологість, температура повітря, кількість сонячного світла тощо впливають на стан багатьох функцій нашого організму, наш тонус, що, у кінцевому результаті, позначається на нашій поведінці [2].

На нас спрямована безмежна кількість фізико-хімічних факторів земного походження з найрізноманітнішими властивостями і могутні сили з космічного простору, що взаємодіють. Сонце, Місяць, планети і безліч небесних тіл поєднані із Землею непомітними зв'язками. Рух нашої планети керується силами тяжіння, які викликають деформації у її повітряній, рідкій і твердій оболонках, змушують їх пульсувати, приводять до припливів. Розташування планет у Сонячній системі впливає на розподіл і напруженість електричних і магнітних сил Землі [3].

Але найбільше впливає на фізичне й органічне життя Землі радіація, що прямує до нас з усього Всесвіту. Вона пов'язує у зовнішній оболонці Землю безпосередньо з космічним середовищем, ріднить її з ним, і тому зовнішність Землі та життя, що її наповнює, є результатом творчого впливу космічних сил. Тому і будова земної оболонки, і її фізико-хімія та біосфера є проявами будови і механіки Всесвіту, а не випадковою грою локальних сил. Наука постійно розширює кордони нашого безпосереднього сприйняття природи. Не Земля, а космічні простори є нашою батьківщиною. І ми починаємо усвідомлювати у всьому масштабі значущість для земного життя і переміщення віддалених небесних тіл, і рух їх посланця – радіації.

Радіація виконує світлову, теплову і хімічну дію. На кожному кроці вона викликає рух матерії і наповнює стихійним життям повітряний океан, моря і суходоли. Зустрічаючи життя, вона віддає йому свою енергію, чим підтримує і зміцнює його в боротьбі з силами неживої природи. Органічне життя тільки там і можливе, де вільний шлях для космічної радіації, тому що жити – це значить пропускати крізь себе потік космічної енергії. В цьому полягає блискуче відкриття А. Л. Чижевського.

Крім електромагнітних коливань, до Землі доходять і потоки дрібних частинок (у вигляді електронів та іонів), які також несуть великі запаси космічної енергії. Отже, більшість фізико-хімічних процесів, що відбуваються на Землі, є результатом впливу космічних сил. Цей вплив зумовлює життєві

процеси у біосфері. Тому ці процеси визнають місцем трансформації космічної енергії.

Головним збудником життєдіяльності Землі є випромінювання Сонця. Весь його спектр, який починається з коротких невидимих ультрафіолетових хвиль і закінчується довгими червоними, а також всі його електронні та іонні потоки є "передавачами". Ці "передавачі" змушують кожний атом поверхні Землі резонувати співзвучно тим вібраціям, які виникли у центральному тілі нашої системи. Полярні сніга, цвітіння троянд, творча робота думки – все це прояви променистої енергії Сонця.

Наука вже знає, що життя на Землі зобов'язане насамперед сонячному променю. Тому що не тільки за допомогою фотосинтезу чи термічних явищ Сонце втручається у "приватне" життя Землі, воно має ще й інші шляхи – безпосередній вплив деяких частин сонячного спектра на фізико-хімічні перетворення і на життєдіяльність мікроорганізмів, рослин і тварин. У цьому спектрі існує цілий ряд "специфічних" променів, які своєрідно впливають на живі організми.

Вивчати позаземні впливи можна за умови великої кількості статистичних даних. Вони отримані ще на початку цього століття і показали, що в ті роки, місяці, тижні, коли активізується електромагнітна і радіоактивна діяльність Сонця, підвищується кількість захворювань, смертей з різних причин тощо. Знайдено відповідності між сонячними і земними феноменами.

Але водночас відомо, що періодична діяльність Сонця є процесом не цілком самостійним, а залежним від розміщення планет Сонячної системи в просторі, від їх взаємовпливів. Астрономи вважають Сонце витонченим інструментом, який враховує всі впливи планет. Отже, земні явища завжди перебувають під постійним і періодичним впливом Сонця та інших зірок, розміщених дуже далеко. Біологічні явища на Землі, можна вважати, є наслідком великого електромагнітного життя Всесвіту.

Статистично встановлено, що сонячні "зміни" безпосередньо впливають на серцево-судинну та інші системи людини, а також на мікроорганізми. Але ці явища описуються не всіма законами, які виявила сучасна наука. Тому необхідно поглибити дослідницьку діяльність з вивчення космічних явищ у науці, де завжди існувала тенденція виявлення помітніших, тобто "грубих" явищ.

Електромагнітну радіацію поділено на різні категорії хвиль: за довжиною хвиль, які мають відповідно

різний ступінь проникності, і за іншими властивостями. Творцями долі земного життя також є корпускулярні, радіоактивні частинки, космічний порошок, газові молекули. Зміна деяких властивостей космічної радіації може призвести до непередбачених наслідків у змінах форм та існування життя [4].

Аномальні зони спостерігаються у місцях тектонічних розломів, підземних річок тощо. Іноді їх спричиняють або підсилюють техногенні впливи ліній електропередач, радіоліній, робота НВЧ-передавачів, наявність підземних металомістких захоронень.

Для прикладу наведемо результати наших вимірювань розподілу електромагнітного поля на автодорозі Львів – Жовква [5].

Характер рельєфу можна вважати послідовним чергуванням горбистої місцевості з рівнинами протягом 5 км (174–179 км), а з 156 км траса прокладена на рівній місцевості. Розподіл електромагнітного поля вздовж автодороги в частотному діапазоні 20 МГц ... 1,0 ГГц за інтенсивністю і частотою досить нерівномірний. На деяких частотах електрична складова напруженості електромагнітного поля (Е) перевищує мінімальне значення, за якого змінюється реакція людини, в декілька разів, а інколи навіть на декілька порядків (600 МГц).

На частоті 50 МГц напруженість електромагнітного поля (Е) перевищує мінімальне значення на 156 км, а також починаючи з 159 км аж до 163 км, 165 км, з 170 до 172 км. Тобто на автодорозі довжиною 25 км на десяти кілометрах напруженість електромагнітного поля є вищою від мінімального значення.

Напруженість електромагнітного поля на частоті 56,5 МГц перевищує мінімальне значення $E_{\min}$ тільки на 156 км, що становить 4 % від всієї довжини, відносна кількість аварій – також 4 %. Дещо інший розподіл поля на частоті 66 МГц. Перевищення мінімального значення напруженості поля є на ділянці від 156 км до 171 км, або на 60 % дороги. На цій ділянці дороги сталося 76 % аварій. Подібна ситуація складається і на частоті 68 МГц, де напруженість електромагнітного поля перевищує мінімальне значення від 156 км до 171 км.

Інший розподіл електромагнітного поля на частоті 67 МГц. Мінімальний рівень напруженості тут перевищений на 156 і 157 км, а також на 168 і 169 км, що становить 8 % від загальної довжини траси. На цю ділянку траси припадає 18 % дорожньо-транспортних пригод.

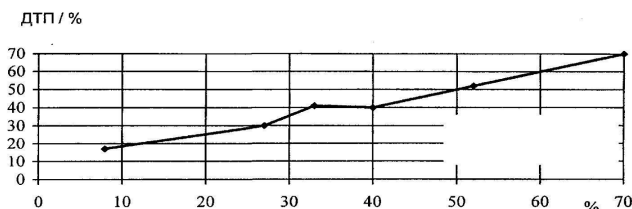
Розподіл електромагнітного поля на частотах 107 МГц, 176 МГц, 198 МГц та 466 МГц є нерівномірним, на багатьох ділянках напруженість поля є значно нижчою за E_{min} , а перевищення мінімального рівня напруженості поля відзначено на деяких ділянках дороги, а саме на частоті 107 МГц перевищення на 156,157,160,161,162,163,165 кілометрах, тобто на 28 % від загальної довжини, і на це місце припадає 30 % дорожньо-транспортних пригод.

На частоті 176 МГц перевищення за напруженістю є на 156, 157, 161, 162, 165...171, 173...179 км, тобто на 68 % довжини дороги, і на них припадає 74 % дорожньо-транспортних пригод.

На частоті 198 МГц перевищення E_{min} є на 156...159,163,166,167,173 км, тобто на 32 % від загальної довжини припадає 42 % дорожньо-транспортних пригод.

Електромагнітне поле частотою 192 МГц відсутнє тільки на 163, 170, 172 і 175 до 179 км, тобто існує на 68 % і на цю ділянку припадає 75 % аварій [6].

Загальна залежність між відносною довжиною дороги, яка опромінюється електромагнітним полем, напруженістю понад E_{min} , і відносною кількістю ДТП, які супроводжувалися каліцтвом чи смертю [7], подана на рисунку.



Залежність між відносною довжиною дороги, яка опромінюється ЕМП напруженістю понад E_{min} , та кількістю ДТП

Всесвіт перебуває у динамічній рівновазі, а поява тих чи інших енергетичних факторів постійна. Органічне життя реагує на ці зміни як найчутливіший резонатор. Потік електронів і протонів, які вилітають з надра сонячної плями до Землі, викликає великі збурення у всьому фізичному й органічному світі планети. Це виявляється у таких явищах, як полярне сяйво, магнітні бурі, зростання кількості раптових смертей, різних видів захворювань, нещасних випадків. Особливе значення серед електромагнітних коливань мають коливання короткої довжини хвилі. Вони народжуються в областях плям і протуберанців і досягають поверхні Землі завдяки своїй проникності.

Як показують досліді, випромінювання радіомагнітних коротких хвиль мають сильну біологічну і фізіологічну дію, і відповідно, є сильними агентами зовнішнього середовища. Різні клітини живих організмів і різні одноклітинні організми по-різному сприймають енергію короткохвильового випромінювання Сонця.

Енергія Всесвіту, безумовно, впливала на еволюцію живої речовини. Своєю чергою, жива речовина узгоджувала з цією енергією свій розвиток і виробила відповідні приймачі, які накопичували енергію і виробляли захисні пристосування для охорони живих клітин від впливу космічних сил. Живу клітину можна розглядати як результат творчих сил Всесвіту.

Серед частини науковців існує думка, що виникнення життя на Землі є результатом випадкової гри земних сил. Але життя – це швидше космічне явище, ніж земне. Інертне тіло планети Земля зазнало впливу творчої динаміки космосу, і космічне серце б'ється в унісон з земним органічним пульсом.

Взаємовпливи, роглянуті вище, здійснюються у вигляді явищ, які періодично повторюються як у просторі, так і у часі. Всюди спостерігаються циклічні процеси – як результат впливу космічних сил (кругообіг атмосфери, вуглекислоти, океанів; добова, річна, багаторічна періодичність у фізико-хімічному житті Землі) і як результат попередньої зміни в органічному світі. Графічно це б виглядало як ряд синусоїд, що накладаються одна на одну чи перетинаються. Ці синусоїди, своєю чергою, мають хвилеподібну форму.

Подальший аналіз веде нас до висновку, що максимуми і мінімуми явищ в органічному світі збігаються з максимумами і мінімумами космічних і геофізичних явищ.

Серед цієї динаміки в безмежному океані окремий живий організм видається безвладною перед примхами стихії скалкою.

Повільно, але впевнено наука крокує до відкриття основних джерел життя, до картини досконалої будови світу. Людина опановує сили навколишнього середовища, вчиться управляти ними, змушує їх працювати на себе, вчиться захищатися від них, якщо вони чинять руйнівні чи шкідливі впливи. Тріумф людських знань є кінцевим результатом підкорення природи. Для того, щоб підкорити природу, необхідно її досконало вивчити. Після великих відкриттів у астрономії, фізиці виявилось, що біосфера Землі залежить від них. Сучасна

медицина все частіше використовує знання, що дає вивчення космічних і солярних випромінювань, корпускулярні та короткохвильові, електричні та магнітні явища. Епідеміологи свої фахові спостереження тепер пов'язують не тільки з соціальними факторами.

Висновок. Результати дослідів у галузях вивчення солярної та космічної радіації, атмосферної електрики і земного магнетизму частіше почали використовувати для запобігання нещасним випадкам на виробництві, в побуті, на автошляхах.

Особливо впливають на людину аномальні зони електромагнітного поля землі. 92 % дорожньо-транспортних пригод трапляються саме в цих аномальних зонах. На підставі теоретичних досліджень розроблено методику оцінки аварійно-небезпечних ділянок шляху, яка ґрунтується на аналізі автокореляційних та взаємкореляційних функцій розподілів поля та кількості ДТП як у часі, так і в геометричних координатах (вздовж автошляхів).

1. Сердюк А. М. *Взаимодействие организма с электромагнитными полями как с фактором окружающей среды.* – К.: Наука думка, 1977. 2. Медве-

дев В. П. *Заболевания сердечно-сосудистой системы у лиц, подвергавшихся в прошлом воздействию электромагнитного поля СВЧ / Гигиена труда и проф. заболевания.* – 1973. – № 3. – С. 6–9. 3. Большакова І.А., Гладун М.Р., Голяка Р.Л., Патра З.Ю., Лопатинський І.Є., Потенціє Є, Сопільник Л.І. *Мікроелектронні сенсорні пристрої магнітного поля / за ред. З.Ю. Готри.* – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2001. – 416 с. 4. Сопільник Л.І. *Моделювання реакції водія автомобіля на впливові фактори довкілля // Автоматика, вимірювання та керування: Вісник Державного університету "Львівська політехніка".* – 1998. – Вип. 324. – С.167–171. 5. Сопільник Л.І. *Оцінка параметрів довкілля на автомобільних шляхах // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.* – Хмельницький, 1998. – № 4. – С. 141–143. 5. Сопільник Л.І. *Реакція електричного біопотенціалу людини на зовнішні впливи // Вимірювальна техніка та метрологія.* – 1999. – Вип. 54. – С. 48–50. 6. Дзвінник В.Д., Сопільник Л.І. *Причини дорожньо-транспортних пригод – електромагнітні хвилі // Науково-технічний вісник "Безпека дорожнього руху України".* – К., 1999. – Вип. 4. – С. 92–94.

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

УДК 377

САМООСВІТНЯ ДІЯЛЬНІСТЬ – ЕФЕКТИВНИЙ ЧИННИК ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ОРГАНІЗАТОРІВ ДІЛОВОДСТВА У ВНЗ І–ІІ РІВНІВ АКРЕДИТАЦІЇ

© Капран Світлана, 2013

Інститут професійно-технічної освіти НАПН України

Проаналізовано проблеми самоосвітньої діяльності майбутніх організаторів діловодства у вищих навчальних закладах І–ІІ рівнів акредитації, розкрито сутність поняття «самоосвітня діяльність».

Осуществлен анализ проблемы самообразовательной деятельности будущих организаторов делопроизводства в высших учебных заведениях I–II уровней аккредитации, раскрыта сущность понятия «самообразовательная деятельность».

The analysis of problem of self-educational activity of future organizers of office work is carried out in higher educational establishments of I–II levels of accreditation, essence of concept «self-educational activity» is exposed.

Постановка проблеми. У «Національній доктрині розвитку освіти у ХХІ столітті» зазначено, що головна мета української освіти – це «створити умови для особистісного розвитку і творчої самореалізації кожного громадянина України, формувати покоління, здатні навчатися впродовж життя, створювати й розвивати цінності громадянського суспільства; сприяти консолідації української нації, інтеграції України в європейський і світовий простір як конкурентоспроможної і процвітаючої держави» [12]. На жаль, невміння студентів самостійно працювати ускладнює їхню самоосвітню діяльність. Тому майбутній фахівець у процесі професійної підготовки має навчитися організовувати свою освіту, самостійно здобувати інформацію, вирішувати особисті та виробничі проблеми, творчо мислити, прагнути до саморозвитку та самореалізації.

Аналіз досліджень і публікацій. У своїх дослідженнях науковці А. Громцева, В. Ільїн, Ю. Шаров, Г. Закіров, М. Кузьміна, Б. Райський, Н. Ковалевська та інші переконливо доводять потребу в самоосвіті та саморозвитку. В наукових розвідках Л. Головка, М. Касьяненко, В. Козакова, Л. Онучак, М. Солдатенка та інших самоосвітня діяльність ґрунтується на самостійності й креативності майбутнього фахівця.

Ідея самоосвітньої спрямованості навчально-виховного процесу є провідною в роботах українських та російських педагогів В. Онищука, І. Підласого, В. Шаталова, М. Гузика, С. Лисенкової та інших. Питання активізації пізнавальної та самоосвітньої діяльності суб'єктів учіння розглядають у своїх працях психологи Н. Менчинська, Д. Богоявленський, Т. Щукіна, дидакти М. Данилов, І. Лернер, М. Скаткін, М. Ганелін та інші.

Метою статті є теоретичне обґрунтування ефективності самоосвітньої діяльності у процесі професійної підготовки майбутніх організаторів діловодства у вищих навчальних закладах І–ІІ рівнів акредитації.

Мета дослідження конкретизується у таких завданнях:

- проаналізувати сутність термінів і понять заявленої проблеми;
- теоретично обґрунтувати ефективність самоосвітньої діяльності у процесі професійної підготовки майбутніх організаторів діловодства у вищих навчальних закладах І–ІІ рівнів акредитації.

Основна частина. Нагальною потребою сучасної вищої школи І–ІІ рівнів акредитації є створення умов,

за яких студент мав би змогу навчатися самостійно здобувати необхідну інформацію, використовуючи її для власного розвитку та самореалізації. Переорієнтація навчально-виховного процесу на самоосвітню діяльність суб'єктів учіння має формувати в них готовність до неперервної освіти, стати ефективним чинником професійної підготовки майбутніх фахівців.

У «Практичному словнику синонімів української мови» С. Караванського поняття «ефективний» тлумачиться як результативний, дійовий [9]. Отже, виникає необхідність застосовувати такі форми роботи, які б спонукали студентів не лише опановувати навчальні дисципліни, а й формувати пізнавальну самостійність і творчість, тобто були б дієвими в оволодінні технологіями аналізу й синтезу, узагальнення і виділення головного, в умінні самостійно користуватися довідковою літературою, здійснювати пошук необхідної інформації тощо.

Чимало педагогів, учених, мислителів різних часів замислювались над цією проблемою. Ще у XVIII ст. німецький педагог Адольф Дістерверг зауважив, що «...розвиток та освіта жодній людині не можуть бути дані чи повідомлені. Всякий мусить досягати цього своєю діяльністю. Те, що людина набула не шляхом своєї самостійності – не її» [7, с. 178–180, 237]. Видатний мислитель другої половини XIX ст. Д. Писарєв наголошував: «Школа повинна: пробудити в дитині допитливість; зміцнити силу її розуму настільки, щоб людина, виходячи зі школи в життя, могла без сторонніх керівників шукати і знаходити розумне задоволення для своєї пробудженої допитливості. Самоосвіта складає необхідну й законну фазу здорового розвитку» [13]. Цінні поради містить педагогічна спадщина В. Сухомлинського, який стверджував: «Без самоосвіти ми не уявляємо формування розумових здібностей школяра» [15].

Дослідження визначеної проблеми потребує насамперед проведення сутнісного аналізу поняття «самоосвіта». Охарактеризуємо означене слово з погляду лексичної семантики, зважаючи на те, що утворене воно способом поєднання двох твірних основ: «сам» і «освіта». Звідси конкретизуємо зміст поняття «самоосвіта» – самостійна освіта. В Академічному тлумачному словнику «самостійний» тлумачиться як такий, «який здійснюється своїми силами чи з власної ініціативи» [1]. Психологи найчастіше пов'язують означене поняття з розумовою діяльністю, виявом волевільної саморегуляції особистості та відповідною її

спрямованістю на розумову активність (В. Столін, М. Боришевський).

Поняття «освіта», у широкому сенсі слова, – «...процес або продукт ... формування розуму, характеру або фізичних здібностей особистості» [18]. В «Енциклопедії освіти» аналізована дефініція тлумачиться як «...процес і результат засвоєння особистістю певної системи наукових знань, практичних умінь і навичок і пов'язаного з ними того чи іншого розвитку її розумово-пізнавальної і творчої діяльності, а також морально-естетичної культури, які у своїй сукупності визначають соціальне обличчя та індивідуальну своєрідність цієї особистості» [8, с. 614]. Отже, «самоосвіта» – це «самостійна пізнавальна діяльність людини, спрямована на досягнення певних особистісно значущих освітніх цілей: задоволення загальнокультурних запитів, пізнавальних інтересів у будь-якій сфері діяльності, підвищення професійної кваліфікації тощо» [8, с. 798].

В «Українському педагогічному словнику» С. Гончаренка зазначено, що самоосвіта – це «...самостійна освіта, отримання системних знань у певній галузі науки, техніки, культури, політичного життя та ін., яка передбачає безпосередній інтерес особистості в органічному поєднанні із самостійністю у вивченні матеріалу» [6, с. 296]. У педагогічних працях І. Зязюна, І. Кривоноса та інших «самоосвіта» – процес формування професійної майстерності; у працях О. Борденюка, О. Кучерявого, О. Яцій, Л. Рувінського та інших – засіб особистісного розвитку, самопізнання, самовиховання; у Н. Сафонові, Н. Кузьміної, В. Буряка, Л. Кондрашової та інших – процес формування окремих рис суб'єкта; у Г. Бичкової, С. Лебедева та інших – форма отримання та поглиблення знань; у працях І. Гончарова, П. Пшебицького та інших – вид пізнавальної діяльності. Як бачимо, простежується декілька підходів до розуміння сутності окресленого поняття.

Отже, самоосвітню діяльність майбутнього організатора діловодства ми розглядаємо як процес духовного й інтелектуального становлення та розвитку, який тісно пов'язаний із різними формами й методами самовиховання, зокрема такими як: самокритика, самопереконавання, самообов'язок тощо. Н. Бухлова пропонує розглядати самоосвітню діяльність суб'єктів учіння як сукупність кількох «само»:

– самооцінка – уміння оцінювати свої можливості;

- самооблік – уміння брати до уваги наявність своїх якостей;
- самовизначення – уміння вибрати своє місце в житті, у суспільстві, усвідомлювати свої інтереси;
- самоорганізація – уміння знайти джерело пізнання, адекватне своїм можливостям, планувати, організовувати робоче місце та діяльність;
- самореалізація – уміння реалізовувати власні можливості;
- самокритичність – уміння критично оцінювати переваги та недоліки власної роботи;
- самоконтроль – уміння реалізовувати власні можливості;
- самовиховання та саморозвиток – як результат самоосвіти [4].

Зважаючи на виділені складники, нагальне завдання викладача – створити умови для розвитку зазначених «само», за яких кожен студент мав би змогу навчатися самостійно здобувати необхідну інформацію, використовуючи її для власного розвитку та самореалізації.

Як зазначає вітчизняний дослідник проблеми самостійної роботи В. Буряк [3], самоосвіта тісно пов'язана із навчанням. Навчання і освіта мають спільний кінцевий результат діяльності: в отриманих знаннях, інтелектуальному розвитку. Вони доповнюють і збагачують одне одного. Тому, на наш погляд, у студентів необхідно розвивати готовність до самоосвітньої діяльності, а найкраще це робити через організацію в навчально-виховному процесі вищого навчального закладу I–II рівнів акредитації самостійної роботи.

Варто зазначити, що у педагогічній літературі дослідники по-різному розглядають взаємовідношення понять «самоосвіта», «самоосвітня діяльність» та «самостійна робота» студентів. Так, поняття «самоосвіта» та «самоосвітня діяльність» часто ототожнюють, а «самоосвіту» та «самостійну роботу» вважають різними педагогічними явищами: за словами С. Татаринцевої, «самоосвіта (або самоосвітня діяльність) – це ціль та результати діяльності, а самостійна робота – це засіб досягнення даного результату» [16, с. 63]. О. Василенко вважає, що самостійна робота є необхідною складовою у процесі самоосвіти, і, організована викладачем, може здійснюватися у поєднанні з самоосвітньою діяльністю і самостійним вивченням матеріалу за власним бажанням студента [5, с. 52]. С. Акманова стверджує, що самоосвіта студента – це добровільна діяльність, спрямована на отримання

знань в процесі самостійної роботи без допомоги викладача, самостійна ж робота готує особистість до самостійності і самоорганізації, які, своєю чергою, є основою самоосвіти, а готовність особистості до самонавчання є необхідною умовою її самоосвіти [2, с. 26–28].

Щодо сутності поняття «самостійна робота», то педагогічна громадськість тлумачить його по-різному, зокрема, як: один із видів навчальної діяльності (Л. Деркач, Г. Романова та ін.); пізнавальна діяльність (В. Буринський, М. Данилов, Р. Нізамов); метод навчання (Ю. Бабанський, І. Унт); прийом навчання (П. Гальперін, В. Ягупов); спосіб самоосвіти (В. Буряк, Ю. Палкін, Н. Сидорчук); засіб засвоєння знань, набуття практичних умінь (Т. Поротнікова, Г. Костюк, Н. Сидорчук); засіб організації пізнання (Н. Дидусь, О. Леонтьєв, Г. Сеїтова); різноманітні типи навчальних завдань, які виконуються під керівництвом викладача (П. Підласистий, М. Гарунов, Н. Нікандров, Л. Зоріна, М. Скаткін та ін.); система організації роботи, за якої управління навчальною діяльністю студентів відбувається за відсутності викладача і без його безпосередньої допомоги (В. Граф, І. Ільєсов, В. Ляудіс, Н. Сагіна, О. Чиж); робота студентів, що проводиться за спеціальним індивідуальним планом, складеним на основі урахування індивідуальних особливостей і пізнавальних можливостей студентів (С. Архангельський, Л. Деркач, І. Шайдур, Н. Сагіна та ін.) тощо. Зазначені вище ознаки відображають багатозначність поняття «самостійна робота», тому науковці однакостайні в тому, що однозначно тлумачити його не можна.

Попри різні визначення понять «самоосвіта», «самостійна робота», «самоосвітня діяльність», більшість науковців сходяться на думці, що самоосвіта є ефективним чинником професійної підготовки майбутніх фахівців, необхідною умовою навчання студентів у вищих навчальних закладах I–II рівнів акредитації і виконує такі функції: спонукає студента стати активним учасником навчального процесу; є критерієм оцінювання навчальних досягнень студентів; виконує функцію глобалізації знання та швидкого взаємобміну за допомогою мережі Інтернет; виступає мотивувальним чинником самовдосконалення та професійного зростання фахівця після завершення підготовки у навчальному закладі; забезпечує реалізацію принципу «освіта протягом усього життя», сприяючи постійному вдосконаленню знань відповідно до

наукового та технологічного розвитку суспільства [11, с. 118].

Самоосвіта не може бути ефективною, якщо майбутні організатори діловодства не володітимуть системою вмінь та навичок самостійної роботи. Від сформованості цих умінь значною мірою залежить навченість суб'єктів учіння та якість їхньої діяльності.

У цьому контексті розглянемо поняття «діяльність». Зазначимо, що під діяльністю розуміють процес взаємодії суб'єкта з навколишнім середовищем для досягнення поставлених цілей. Діяльність – це «спосіб буття людини в світі, здатність її вносити в дійсність зміни. Основні компоненти діяльності: суб'єкт з його потребами; мета, відповідно до якої перетворюється предмет в об'єкт, на який спрямовано діяльність; засіб реалізації мети; результат діяльності. Загальним засобом діяльності є сукупність знарядь праці, створених людьми, – техніка і технологія. Універсальним предметом діяльності є природа й суспільство, а її загальним наслідком – олюднена природа» [6, с. 98]. У «Філософському енциклопедичному словнику» поняття «діяльність» розглядають як «...форму активності, що характеризує здатність людини або пов'язаних з нею систем бути причиною змін у бутті» [17, с. 163]. Основна функція діяльності полягає в забезпеченні збереження і безперервного розвитку суспільства й окремої особистості: «Але що таке життя людини? Це є сукупність, точніше, система діяльностей, що змінюють одна одну», – як зазначав О. Леонтьєв [10, с. 57].

У вітчизняній та зарубіжній психології розроблено теорію діяльності, яка ґрунтується на розумінні того, що тільки діяльність дає змогу людині мати взаємозв'язки та вступати в активні стосунки з навколишнім світом; змінювати себе, розвивати мислення та індивідуальну свідомість. «Психологічний словник» розглядає діяльність як динамічну систему взаємодії суб'єкта зі світом, провідними характеристиками якої є предметність та суб'єктивність [14].

Діяльність завжди мотивована певною потребою. А потреба в знаннях є тією внутрішньою силою, що стимулює майбутнього організатора діловодства до активних дій, формує його готовність до самоосвітньої діяльності та забезпечує саморозвиток у професійній діяльності.

Невдоволеність суб'єктів освітньої діяльності [науково-педагогічних працівників і майбутніх організаторів діловодства] вищих навчальних закладів I–II

рівнів акредитації традиційними формами та видами самостійної роботи спонукає викладачів до пошуку нових підходів щодо вирішення означеної проблеми. Самостійна робота майбутніх організаторів діловодства, яку організовує і здійснює викладач лише через комплекс домашніх завдань, не задовольняє потреби майбутніх фахівців, не повною мірою сприяє розвитку їхніх творчих особистісних і професійних якостей.

Аналіз стану організації самоосвітньої діяльності майбутніх організаторів діловодства у педагогічній теорії і практиці показав, що науковці й практики активно працюють над розробленням нових методів, форм і способів підвищення пізнавальної активності студентів. Активізації взаємного діалогу студента і викладача сприяє використання педагогічних технологій, зокрема, таких як: метод проектів, групова форма навчальної діяльності, система розвивального навчання, технології колективного творчого виховання тощо. Викладачі вищих навчальних закладів I–II рівнів акредитації широко використовують метод навчальних проектів. Сутність його полягає в окресленні викладачем загальних рис і напрямів роботи, постановці конкретних завдань перед учнями, виконуючи які, вони мають самостійно зібрати інформацію з теми вивчення, опрацювати та осмислити необхідний матеріал, зробити висновки та оформити у вигляді цілісного презентаційного продукту. Результати освітньої практики свідчать, що використання зазначеного методу максимально сприяє розвитку мислення, як процесу самостійного пізнання нового, здобуттю власного досвіду, що дає змогу здійснювати самостійні аналітико-синтетичні мисленнєві операції (такі як виявлення закономірностей, проведення зіставлень, здійснення узагальнень тощо) та активному використанню уже здобутих знань і сформованих навичок.

Основою самостійної роботи, за теоретичними висновками Є. Белкіна і П. Підкасистого, є пізнавальна задача. Для студента саме пізнавальна задача є зовнішньою причиною, що збуджує його до дії: в процесі самостійної роботи над нею він, спираючись на наявні знання, здобуває нові знання, вміння й навички. Лише на основі системи пізнавальних задач, детермінованої системи окремих дидактичних цілей можлива організація самостійної роботи студентів без безпосередньої участі викладача

Стимулює самоосвітню діяльність студентів упровадження в процес навчання дослідницького

підходу. Пошуково-дослідницька діяльність студентів за умови вмілого педагогічного керівництва об'єднує завдання навчання із завданням стимулювання саморозвитку особистості до самостійного подолання труднощів. Результати освітньої практики показали, що, вивчаючи величезні обсяги інформації, майбутній організатор діловодства має вчитися самостійно шукати необхідну інформацію, аналізувати, критично осмислювати та використовувати її у процесі навчання.

Провідним методом щодо формування професійних умінь майбутніх організаторів діловодства в процесі їхньої пошуково-аналітичної самостійної роботи є використання кейс-методу (методу конкретних ситуацій), застосування якого забезпечило перехід від вивчення теоретичних знань до застосування їх на практиці. Майбутні організатори діловодства навчилися працювати в групі, аналізувати конкретну ситуацію, приймати власні рішення, аргументувати свої пропозиції, відрізняти головні події від другорядних, ставити запитання, дискутувати тощо. До того ж вони навчилися самостійно вирізняти проблеми та розробляти ситуації.

На вияв креативності, здатності майбутніх організаторів діловодства до самоаналізу, самооцінки та самовдосконалення найбільше впливає спрямування їхньої самоосвітньої діяльності на виконання наукової роботи. Участь студентів у конкурсах, виставках творчих робіт, олімпіадах сприяла вияву їхньої самостійності та активності. Проведення навчальних конференцій дало можливість майбутнім організаторам діловодства самостійно знаходити та опрацьовувати необхідний матеріал, творчо підходити до підготовки доповідей, сформулоуло їхні практичні навички щодо ділового усного й писемного спілкування в колективі. Учасники конференції мали змогу не тільки слухати доповіді товаришів, а й обговорювати результати їхньої самостійної навчальної роботи, визначати найефективніші методи, прийоми і засоби щодо формування готовності майбутніх організаторів діловодства до самоосвітньої діяльності.

Зазначимо, що в процесі підготовки майбутніх організаторів діловодства до організації самоосвітньої діяльності ми врахували низку важливих чинників, зокрема: використання різних видів самостійної роботи у процесі навчання; раціональний розподіл навчального часу; створення ситуації успіху для кожного майбутнього організатора діловодства через реалізацію принципу особистісно орієнтованого навчання; акти-

візація творчого потенціалу майбутніх організаторів діловодства, розвиток їхніх пізнавальних здібностей і психічних процесів – пам'яті, уяви, мислення; самооцінювання своєї діяльності майбутніми організаторами діловодства.

Висновки. Отже, здійснений аналіз сутності термінів і понять заявленої проблеми та теоретичне обґрунтування ефективності самоосвітньої діяльності у процесі професійної підготовки майбутніх організаторів діловодства у вищих навчальних закладах І–ІІ рівнів акредитації дали нам змогу дійти таких висновків:

- попри різні думки науковців щодо визначення поняття «самоосвіта», вона є ефективним чинником професійної підготовки;
- самоосвіта – постійна діяльність студента, спрямована на розширення й поглиблення знань і вмінь у процесі професійної підготовки.
- результатом самоосвітньої діяльності майбутніх організаторів діловодства є їхній саморозвиток та самовиховання, які сприяють самореалізації особистості як спеціаліста.

1. Академічний тлумачний словник (1970—1980). – Електрон. текст. дані. – Б.м., сор. 2011. – Режим доступу: <http://sum.in.ua>. 2. Акманова С.В. Развитие навыков самообучения у студентов университета: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08 / С. В. Акманова. – Магнитогорск, 2004. – 197 с. 3. Буряк В.К. Формування у школярів потреби в самоосвіті / В.К. Буряк // Рідна школа. – 2000. – № 9. – С.55–57. 4. Бухлова Н.В. Формування здатності особистості до самонавчання / Н.В. Бухлова // Педагогічна скарбниця Донеччини. – Донецьк: ТОВ «Каштан», 2002. – № 1. – С. 47–48. 5. Василенко О. В. Організація самостійної роботи студента заочної форми навчання вищих навчальних закладів юридичного профілю : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 / О. В. Василенко. – КНУВС. – К., 2008. – 257 с. 6. Гончаренко С. Український педагогічний словник / С. Гончаренко. – Київ: Либідь, 1997. – 376 с. 7. Дистерверг А. Руководство к образованию немецких учителей / А. Дистерверг // Избранные педагогические сочинения. – М.: Учпедгиз, 1956. – 374 с. 8. Енциклопедія освіти / Акад. пед. наук України; гол. ред. В.Г. Кремень. – К.: Юрінком Інтер, 2008. – 1040 с. 9. Караванський С. Практичний словник синонімів української мови / С. Караванський. – К.: Українсько-

- канадське спільне підприємство «Кобза», 1993. – 469 с.
10. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. – М.: Политиздат, 1975. – 304 с.
11. Медведовська Т. Самоосвіта студентів вищих навчальних закладів в Україні та її роль у процесі професійної підготовки фахівців в умовах Болонського процесу / Т. Медведовська. – Слов'янськ: Вища школа, 2010. – Вып. 5. – С. 114–118.
12. Національна доктрина розвитку освіти у XXI ст. – К.: Шк. світ, 2001. – 21 с.
13. Педагогічна скарбниця Донеччини. – Донецьк: ТОВ «Каштан», 2002, № 1(15). – 77 с.
14. Психологічний словник / за ред. В.І. Войтка. – К.: Вища школа, 1982. – 216 с.
15. Сухомлинський В.А. О воспитании / сост. и авт. вступ. очерков С. Соловейчик. – М.: Политиздат, 1979. – С. 189–190.
16. Татаринцева С. В. Методическая компетенция учителя и её формирование в процессе самостоятельной работы студентов: дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08 / С.В. Татаринцева. – Тольятти, 2003. – 319 с.
17. Філософський енциклопедичний словник: Нац. академія наук України, Інститут філософії ім. Г.С. Сковороди. – К.: Абрис, 2002. – 742 с.
18. Чеп М.-Л.А. Психологічна експертиза освіти / Проблеми загальної та педагогічної психології: зб. наук. пр. Інституту психології імені Г.С. Костюка НАПН України. Том XII, Ч. 5. – К., 2010. – С. 337–341.

УДК 541.183:622.33 + 622.693

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ПРОЦЕСІВ СПАЛЮВАННЯ НЕКОНДИЦІЙНОГО ПАЛИВА

© Борук С., Трояновська Н., 2013

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Досліджено вплив ряду речовин, здатних поглинати сульфур(IV) оксид з газоповітряних викидів, на фізико-хімічні властивості та теплотворну здатність висококонцентрованих водовугільних суспензій. Визначено оптимальний склад водовугільного палива, за якого досягається скорочення викидів SO₂ на 80 % та зберігаються необхідні фізико-хімічні й експлуатаційні характеристики.

Исследовано влияние ряда веществ, способных поглощать диоксид серы из газовойоздушных выбросов, на физико-химические свойства и теплотворную способность высококонцентрированных водоугольных суспензий. Определен оптимальный состав водоугольного топлива, при котором достигается сокращение выбросов SO₂ на 80 % с сохранением приемлемых физико-химических и эксплуатационных характеристик.

An influence of some admixtures based on calcium carbonate and hydroxide on physico-chemical, caloric and some other properties of the coal-water fuel has been investigated. Some specific regularities have been found and the most optimal admixtures composition was determined. This composition ensures fixation of up to 80 % of SO₂ in the form of stable and non-toxic compounds.

Вступ. Спалювання твердого палива різної природи є одним з головних джерел забруднення довкілля (передусім атмосфери) [1–4]. Під час спалювання в атмосферу викидається летка зола з частинками палива, що не допалилось, оксиди сірки та азоту, сполуки фтору, а також газоподібні продукти неповного спалювання палива. Іноді летка зола може містити і токсичніші сполуки.

У наш час вугілля, через зменшення запасів нафти та збільшення вартості її добування, стає одним з головних доступних енергоносіїв. В Україні основна

частина електроенергії виробляється на теплових електростанціях, причому частка вугілля в структурі енергоресурсів більша за 35 % [4–6]. Разом з тим, з екологічного погляду вугілля є найбруднішим видом сировини. Питомі викиди основних забруднювальних речовин в 2–3 рази більші, ніж при використанні нафти або мазуту. Крім того, внаслідок роботи вугільних теплоелектростанцій (ТЕЦ) відбувається забруднення довкілля за рахунок викидів з систем складування палива, при транспортуванні вугілля та його подрібненні [5].

Поряд з іншими напрямками (гідрогенізація та піроліз вугілля, синтез моторного палива) проводяться роботи зі створення висококонцентрованих водовугільних суспензій (ВВС), які являють собою суміш дисперсного вугілля, води та хімічних добавок [6–8].

Світова практика використання ВВС як заміни котельного палива показала, що вони вдвічі дешевші від мазуту, але питання широкого використання водовугільного палива пов'язане з проблемою створення седиментаційно стійких систем з незначною в'язкістю, здатних до транспортування по трубах. Створення розгалуженої гідротранспортної системи дасть можливість вирішити питання постачання палива у віддалені райони та звільнити потужності залізничного транспорту. При цьому скорочуються втрати вугілля під час навантаження – розвантаження та транспортування, що значно покращує екологічний стан у регіонах [9–12].

Водовугільне паливо має значні переваги з екологічного погляду. Перехід енергогенерувальних підприємств, що працюють на твердому паливі, на водовугільні суспензії дозволив би істотно скоротити викиди забруднювальних речовин в атмосферне повітря [12–18].

Мета дослідження. Подальшого зменшення вмісту забруднювальних речовин у газових викидах можна досягти введенням до складу вод вугільної системи добавок, здатних зв'язувати забруднювальні речовини, передусім кислотоутворювальні гази. До таких речовин належать лужні реагенти. Але застосування таких добавок не повинно погіршувати фізико-хімічні та експлуатаційні характеристики висококонцентрованих систем. Пошуку таких речовин та умов їх застосування стосується ця робота.

Методика експерименту. Об'єктом дослідження були тверді відходи Ясінівського коксохімічного заводу (вологість 15 %, зольність 23 %).

Як добавки, здатні зв'язувати кислотоутворювальні гази, використовували карбонати натрію та кальцію (Na_2CO_3 , CaCO_3), мармуровий пил.

Вологість зразків визначали, висушуючи зразки до постійної маси при температурі 105 °C, та за різницею мас розраховували вологість зразку.

Зольність зразків визначали, прожарюючи попередньо висушені зразки у муфельній печі при температурі 850 °C до постійної маси, та за різницею мас розраховували вміст золи.

Під час помелу як пластифікатор застосовували лігносульфонат натрію (ЛСТNa) сіль лігносульфонової кислоти спільно з лугом (далі добавка ЛСУ).

Помел проводили в кульовому млині об'ємом 1,0 літр сталевими кулями діаметром 28 мм і 10 мм. Для помелу використовували частинки вугілля розмірами до 2,5 мм. Час помелу визначали експериментально. Критерієм закінчення помелу була відсутність частинок розміром більше за 300 мкм і вміст частинок розміром понад 250 мкм, менший за 0,1 % (мас). Такий ступінь подрібнення шламу досягався протягом 35 хв при 75 оборотах корпусу млина за хвилину. Збільшення часу помелу призводить до різкого зростання в'язкості систем, ймовірно, за рахунок зростання концентрації високодисперсних частинок, передусім глинистої складової.

В'язкість отриманих дисперсних систем визначали безпосередньо після проведення помелу при швидкості зрушення 9 с^{-1} на приладі “Реотест–2” згідно зі стандартною методикою.

Седиментаційну стійкість висококонцентрованих суспензій визначали за часом, необхідним для початку їх розшарування.

Теплотворну здатність зразків палива визначали, спалюючи їх у калориметричній бомбі.

Ступінь вигорання паливної складової визначали гравіметрично, визначивши масу паливної складової, що не вигоріла за 10 хв у фарфоровому тиглі при температурі 800 °C.

Визначення кількості кислих газів, що утворюються при спалюванні зразків палива, визначали титруванням абсорбційної рідини (слабкий розчин перекису водню) 0,01 н розчином NaOH до і після абсорбції газів, що утворилися.

Результати й обговорення. Ми отримали серії шламовугільних суспензій з концентрацією твердої фази 63 %. Введенням до системи карбонатів концентрацію шламу зменшували на відповідне значення. Рекомендовані добавки вводили перед проведенням помелу. Їх концентрація становили 0,5, 1, 1,5 і 2 % (мас).

Як видно з наведених даних (табл. 1), введення до системи карбонатів у вигляді солей (Na_2CO_3 , CaCO_3) призводить до різкого зростання в'язкості отриманих систем і супроводжується швидкою втратою ними седиментаційної стійкості. Застосування мармурового пилу практично не впливає на фізико-хімічні характеристики дисперсних систем, лише незначно змен-

шується седиментаційна стійкість, імовірно, за рахунок наявності у гідросуспензіях частинок дисперсної фази, які мають іншу природу і не беруть участь у формуванні структури, що реалізується у системі. Частинки мармурового пилу мають значну твердість, густину. Їх розміри – у межах 10–50 мкм. Це призводить до того, що вони здатні седиментувати, навіть у в'язкому середовищі, яким є водовугільна суспензія, руйнуючи при цьому її структуру.

Треба зауважити, що у разі введення до шламовугільної суспензії мармурового пилу, перемішування після її розшарування дає змогу практично повністю відновити її гомогенність та інші характеристики. Зростання в'язкості відбувається на 4–7 %. У разі додавання до дисперсної системи карбонатів у вигляді солей повного відновлення структури не відбувається. В'язкість зростає на 8–14 %. Імовірно, це є наслідком утворення в системі великих агрегатів частинок, які практично не взаємодіють у статичних умовах. Після накладання зовнішнього впливу такі агрегати, внаслідок пересування, вступають в контактну взаємодію, частково руйнуються, що призводить до зростання в'язкості. Крім того, солі кальцію мають велику гігроскопічність і зв'язують певну частину води, наявної в системі, що призводить до зростання концентрації дисперсної фази у суспензії.

Враховуючи, що перед спалюванням водовугільної суспензії деякий час повинні зберігатись у статичних умовах, а також відсутність в Україні трубопровідної системи, призначеної для транспортування водовугільних суспензій, важливою характеристикою одержаних систем є здатність зберігати свої властивості у часі.

Як показали проведені дослідження, застосування карбонатів натрію і кальцію призводить до різких змін реологічних характеристик отриманих систем у часі. Седиментаційна стійкість вказаних систем незначна, і залежно від концентрації добавки може зменшуватись до 36 год, після чого відбувається руйнація дисперсної системи. Тому визначали характер зміни в'язкості шламовугільної суспензії у часі впродовж 36 годин після одержання вихідної системи.

Властивості систем, отриманих з додаванням мармурового пилу, за характеристиками мало відрізняються від контрольного дослідження. Це свідчить про те, що частинки мармуру практично не взаємодіють із іншими інгредієнтами дисперсної фази водовугільної суспензії і не беруть участі у процесах структуроутворення у таких системах.

Проведені дослідження впливу ряду потенційних поглиначів кислотоутворювальних газів дали змогу рекомендувати як добавку мармурового пилу до водовугільних систем. Разом з тим, визначальними характеристиками одержаних систем є експлуатаційні, а саме теплотворна здатність, ступінь згорання паливної складової. Це зумовило необхідність визначення вищевказаних параметрів.

Встановлено, що введення до суспензій карбонатів натрію і кальцію призведе до поступового зниження ступеня вигорання паливної складової. Це пов'язано з тим, що за високої температури ці солі здатні разом із мінеральною складовою утворювати розплав, який погіршує контакт палива з киснем повітря. Цей ефект спостерігався візуально. Крім того, під час охолодження зольних залишків таких суспензій відбувалось розтріскування кварцових човників, в яких проводилось спалювання, що свідчить про значне утворення розтопленої речовини. В охолодженій склоподібній масі візуально визначають залишки вугільних частинок, які не згоріли.

Отримані закономірності підтвердилися під час визначення теплотворної здатності одержаних зразків. Спостерігається стійке зниження калорійності палива у разі збільшення концентрації добавки. Причому ступінь зниження теплотворної здатності значно більший за очікуваний, викликаний зменшенням вмісту паливної складової (табл. 2).

Експлуатаційні характеристики дисперсних систем із вмістом мармурового пилу мають мало відрізняються від холостого дослідження. Ступінь вигорання паливної складової залишається високим, теплотворна здатність зменшується незначно, що є наслідком зменшення вмісту в системі паливної складової (табл. 2).

Отримані результати дали змогу рекомендувати для практичного застосування висококонцентровані водовугільні системи з використанням як добавки для зменшення вмісту в газоповітряних викидах оксидів сульфуру та нітрогену мармурового пилу.

Як видно з даних, наведених у табл. 3, з переходом від спалювання вугілля у вигляді пилу до використання ВВС істотно знижується концентрація основних забруднювальних речовин. Це викликано зміною умов спалювання палива. При спалюванні вугілля у вигляді ВВС мінеральна складова, що в ній міститься, встигає більшою мірою зв'язувати оксиди сульфуру та нітрогену, що утворюється внаслідок згорання палива. У зв'язку з іншим температурним

режимом менш активно відбувається утворення оксидів нітрогену за рахунок високотемпературного спалювання атмосферного азоту. Зволоженість палива також

призводить до різкого зменшення утворення леткої золи, що супроводжується зменшенням викиду у навколишнє середовище твердих аерозольних частинок.

Таблиця 1

Вплив кислотовловлювальних добавок на фізико-хімічні характеристики водовугільних суспензій

Вміст вугільної складової, %.	Вміст карбонатів, %	В'язкість, Па×С	Седиментаційна стійкість, діб
63	0	0,9	7,5
Na ₂ CO ₃			
62,5	0,5	1,1	5
62	1	1,3	4
61,5	1,5	1,4	2,5
61	2	1,5	2
CaCO ₃			
62,5	0,5	1,2	5,5
62	1	1,4	4
61,5	1,5	1,5	2
61	2	1,5	1,5
Мармуровий пил			
62,5	0,5	0,9	7
62	1	0,9	7
61,5	1,5	0,9	6,5
61	2	0,9	6

Таблиця 2

Порівняльний аналіз спалювання бурого вугілля у твердому вигляді та у вигляді висококонцентрованих суспензій

Вид палива	Теплотворна здатність, кДж/кг палива	Ступінь вигорання паливної складової, %
Шлами Ясіновського КХВ	33500	90,5
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ	25400	99,5
ВВС з введенням Na ₂ CO ₃		
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ (C _{доб.} =0,5 %)	25200	98
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ (C _{доб.} =1 %)	25100	96,3
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ (C _{доб.} =1,5 %)	24800	95,1
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ (C _{доб.} =2 %)	24600	94,2
ВВС з введенням CaCO ₃		
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ (C _{доб.} =0,5 %)	25200	97,5
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ (C _{доб.} =1 %)	24900	95,8
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ (C _{доб.} =1,5 %)	24700	94,6
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ (C _{доб.} =2 %)	24600	93,7
ВВС з введенням мармурового пилу		
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ (C _{доб.} =0,5 %)	25300	99,4
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ (C _{доб.} =1 %)	25200	99,3
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ (C _{доб.} =1,5 %)	25200	99,3
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ (C _{доб.} =2 %)	25100	99,4

Таблиця 3

Вміст кислотоутворювальних газів, що утворюються під час спалювання шламів у твердому вигляді, у вигляді ВВС та ВВС з вмістом карбонатів

Склад палива	Маса кислих газів, кг на 1 т спаленого палива	Маса кислих газів, кг на 1 ГДж енергії
Шлами Ясіновського КХВ	38	1,13
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ	21	0,83
ВВС з введенням Na_2CO_3		
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ ($C_{\text{доб.}}=0,5\%$)	19,5	0,77
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ ($C_{\text{доб.}}=1\%$)	18	0,72
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ ($C_{\text{доб.}}=1,5\%$)	16,6	0,67
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ ($C_{\text{доб.}}=2\%$)	15	0,61
ВВС з введенням CaCO_3		
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ ($C_{\text{доб.}}=0,5\%$)	19	0,75
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ ($C_{\text{доб.}}=1\%$)	17,2	0,69
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ ($C_{\text{доб.}}=1,5\%$)	16,2	0,66
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ ($C_{\text{доб.}}=2\%$)	14,7	0,60
ВВС з введенням мармурового пилу		
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ ($C_{\text{доб.}}=0,5\%$)	19,7	0,78
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ ($C_{\text{доб.}}=1\%$)	17,9	0,71
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ ($C_{\text{доб.}}=1,5\%$)	16,9	0,67
ВВС на основі шламів Ясіновського КХВ ($C_{\text{доб.}}=2\%$)	15,6	0,62

Така тенденція спостерігається як під час простого спалювання палива (перше значення величини викиду у табл. 3), так і під час спалювання із застосуванням засобів для зменшення викидів у повітря – введення до суспензії карбонатів у вигляді солей або мармурового пилу.

Як встановлено, найефективніше діють солі вугільної кислоти. Їх застосування зменшує викиди кислотоутворювальних газів майже на 30 % (табл. 3). Але, враховуючи значний негативний вплив цих добавок на фізико-хімічні та експлуатаційні характеристики таких водовугільних систем, рекомендувати введення вказаних речовин до дисперсних систем недоцільно.

У разі застосування мармурового пилу зменшення викидів кислотоутворювальних газів становить 23–25 %, залежно від концентрації добавки. Враховуючи відсутність негативного впливу вказаної добавки на фізико-хімічні та експлуатаційні характеристики водовугільних систем, можна рекомендувати її до практичного застосування.

Висновки. У роботі досліджено вплив деяких речовин, здатних поглинати сульфур (IV) оксид з газоповітряних викидів, на фізико-хімічні властивості та теплотворну здатність висококонцентрованих водо-

вугільних суспензій. Визначено оптимальний склад водовугільного палива, за якого викиди SO_2 зменшуються на 80 % та зберігаються необхідні фізико-хімічні та експлуатаційні характеристики. Проведені дослідження підтвердили більшу екологічну безпечність спалювання вугілля у вигляді висококонцентрованих водовугільних суспензій з введенням до їх складу добавок, здатних вловлювати кислотоутворювальні гази. Це дає можливість рекомендувати їх для використання на діючих теплоелектростанціях.

1. Кузнецов Л.С., Малыш А.С., Долгарев Г.В. Экологические проблемы коксохимического производства и разработки УХИНа по снижению вредных выбросов в окружающую среду // Углекислотный журнал. – 2000. – № 1–2. – С.51–53. 2. Братичак М.М., Гайванович В.І., Пишчев О.А. Обзор технологий, направленных на уменьшения выбросов диоксидов серы при сжигании серистого та високосеристого вугілля на ТЕС. // Углекислотный журнал. – 2001. – № 3–4. – С.53–57. 3. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Недра, 1988.–312 с. 4. Базаянц Г.В. Прогноз технико-экономических показателей десульфуризационных установок угольных котлов Украины // Энергетика и электрификация. –

1999. – 189, № 2. – С. 48–50. 5. Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю. Экологически чистые технологии сжигания и газификации высокосольных углей в кипящем слое // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – № 5. – С. 3–11. 6. Пиш'єв С.В. Оксидатійна десульфуризація високосіркового низькометаморфизованого вугілля: дис. канд. техн. наук: 05.17.07. – Львів, 1999. – 149 с. 7. Розенкоп З.П. Извлечение двуокиси серы из газов. – М.: ГХИ, 1952. – 192 с. 8. Мадоян А.А., Базаянц Г.В. Сероулавливание на ТЭС. – К.: Техніка, 1992. – 160 с. 9. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. – М.: Химия, 1980 – 360 с. 10. Урьев Н.Б. Закономерности структурообразования высококонцентрированных водоугольных суспензий // В сб.: Исследование гидромеханики суспензий в трубопроводном транспорте. – М.: ВНИИПИ гидротрубопровод, 1985 – С. 8–27. 11. Дегтяренко Т.Д., Завгородний В.А., Макаров А.С., Борук С.Д. Адсорбция лигносульфонатов на поверхности частиц твердой фазы высококонцентрированных водоугольных суспензий // Химия твердого топлива – 1990. – № 1. – С. 92–97. 12. Sergey Boruk and Igor Winkler. Highly concentrated water-coal suspensions: preparation from the coal concentration

slurries, rheological and energetic characteristics // Polish journal of applied chemistry. – 2008 – LII, no. 3–4, – P. 149–155. 13. Макаров А.С., Егурнов А.И., Савицкий Д.П., Завгородний В.А., Борук С.Д. Влияние модифицирования бурого угля на реологические свойства и эксплуатационные характеристики // Хімічна промисловість України – № 3, 2008. – С.19–24. 14. Qiang T., Zhigang Z., Wenpei Z., Zidong C. SO₂ and NO_x selective adsorption properties of coal-based activated carbons // Fuel – 2005. – Vol. 84. – P. 461–465. 15. Zhana L., Sato A., Ninomiya J., Sasaoka E. In situ desulfurization during combustion of high-sulfur coals added with sulfur capture sorbents // Fuel – 2003. – Vol. 82. – P. 255–266. 16. Liu J., Zhao W., Cheng J., Znan G., Feng Y., Cen K. An investigation on the rheological and sulfur-retention characteristic of desulfurizing coal water slurry with calcium based additives // Fuel processing technology. – 2009. – Vol.90. – P. 91–98. 17. Jung K.S., Keener T.C., Khang S.-J. Compositional factors affecting NO_x emissions from Ohio coals // Fuel processing technology – 2001. – Vol.74. – P. 49–61. 18. Lee K.-T., Tan K.-C., Dahlan J., Mohamed A.R. Development of kinetic model for the reaction between SO₂/NO_x and coal fly ash/CaO/CaSO₄ sorbent // Fuel – 2008. – Vol. 87. – P. 2223–2228.

УДК 621.327

БАКТЕРИЦИДНЕ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СИПКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

© Семенов Анатолій, Семенова Наталія, 2013

Полтавський університет економіки і торгівлі, м. Полтава, вул. Ковалю, 3

Подано результати знезараження сипких харчових продуктів ультрафіолетовим випромінюванням. Показані переваги ультрафіолетового випромінювання над іншими методами. Запропоновано спосіб і пристрій для бактерицидного знезараження сипких продуктів. Проведено необхідні розрахунки, пов'язані з УФ-опромінюванням.

Представлены результаты обеззараживания сыпучих пищевых продуктов ультрафиолетовым излучением. Показаны преимущества ультрафиолетового излучения перед другими методами. Предложен способ и устройство для бактерицидного обеззараживания сыпучих продуктов. Проведены необходимые расчеты, связанные с УФ-облучением.

The results of decontamination of bulk food products by ultraviolet radiation. The advantages of UV radiation over other methods. A method and apparatus for microbicidal disinfection solids. Made the necessary calculations related to UV-irradiation.

Постановка проблеми. Проблема забезпечення тривалості зберігання харчових продуктів з високим і проміжним вмістом вологи (молочні сипкі харчові

продукти) без створення відповідних умов зберігання була і залишається одним з найважливіших завдань харчової промисловості. Вода, перебуваючи в їжі у

вільному і зв'язаному стані, є істотним чинником збереження водорозчинних вітамінів, запобігає окисненню жирів, неферментативному потемнінню продукту. Але водночас вона сприяє розвитку патогенної мікрофлори, що спричиняє швидке псування продукту. У зв'язку з цим проведення знезараження (стерилізації) в процесі виробництва є необхідною технологічною операцією для отримання продукту, безпечного в санітарно-гігієнічному аспекті.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У наш час існування різних методів і способів знезараження сипких харчових продуктів і сировини для них дають змогу повною мірою досягти позитивних результатів при знищенні мікроорганізмів будь-якого виду, не лише вегетативних, але і спорових форм бактерій та іншої мікрофлори в харчовій, мікробіологічній і фармацевтичній промисловості [1].

Найпоширенішими є хімічні методи знезараження сипких продуктів. Так, відомий спосіб знезараження сипких продуктів, що передбачає дезінфікуючий вплив на оброблюваний продукт при його переміщенні (патент РФ № 2081599, кл. А23 В 9/32). Дезінфікуючий вплив за відомим способом здійснюється парами пропійонової кислоти.

Недолік запропонованого способу, як і будь-яких інших різновидів хімічних методів і пристроїв для їх здійснення, пов'язаний з тим, що вплив будь-яких хімічних речовин на продукти сільськогосподарського виробництва та інгредієнти різних препаратів потенційно небезпечний, оскільки при цьому можуть ініціюватися різні хімічні реакції, що призводять до зміни фізико-хімічних і біологічних властивостей оброблюваних продуктів. Оцінка реальної небезпеки такого роду змін надзвичайно важка і далеко не завжди достовірна. Залишкові кількості хімічного препарату в тому чи іншому вигляді потрапляють в кінцевий продукт. Ризик передозування під час оброблення вельми високий. Хімічні препарати зазвичай мають значну післядію. Крім того, відомий спосіб, як і більшість хімічних методів, селективні щодо природи і стану оброблюваного продукту, тобто для конкретного виду і стану продукту в загальному випадку необхідний підбір відповідного хімічного реагенту та режиму його застосування.

Отже, методи дезінфекції, які ґрунтуються на застосуванні хімічних дезінфікуючих реагентів (сильних окиснювачів – озону, хлору тощо) та радіаційні мето-

ди, які використовують різні іонізуючі випромінювання (рентгенівське, гамма-випромінювання), супроводжуються впливом на структуру, що призводить до незворотних змін фізико-хімічних властивостей, і погіршують біологічну цінність продукту [2].

Ефективний напрям вирішення поставленої проблеми – використання ультрафіолетового випромінювання з довжиною хвиль 253,7 нм, що має бактерицидну дію і забезпечує ефективну інактивацію мікроорганізмів різних типів – бактерій, грибків тощо [3, 4]. У разі ультрафіолетового опромінення твердих частинок обробляється тільки найтонший шар, основна ж маса речовини не зазнає ніякого впливу і, відповідно, не змінює своїх біохімічних властивостей. У цьому й полягають переваги УФ-обробки порівняно з іншими методами знезараження.

Враховуючи факт непрозорості твердих середовищ, для УФ-випромінювання під час оброблення сипких продуктів застосовують вібраційні або ротаційні апарати, які забезпечують перемішування частинок, здійснюючи їх УФ-опромінювання з усіх сторін. Застосування таких апаратів для забезпечення опромінювання всіх видимих для УФ-випромінювання поверхонь повинно супроводжуватися тривалим часом обробки для досягнення найбільшої ймовірності опромінення з усіх сторін та отримання оптимального результату.

Спроби створення ефективної технології дезінфекції сипких харчових продуктів з використанням УФ-опромінювання робили неодноразово, проте помітного позитивного прогресу не спостерігалось.

Для розв'язання поставленої задачі і досягнення позитивних результатів при опроміненні сипких продуктів розглянемо ряд відомих технічних засобів аналогічного призначення, принцип роботи яких ґрунтується на використанні УФ-опромінювання.

Відома установка для обробки сипких продуктів опромінюванням, зокрема і УФ (патент РФ 2124299, 04.11.97), в яку входить завантажувальний і розвантажувальні пристрої, а також камера для опромінювання, що складається з верхнього та нижнього барабанів, всередині яких встановлені джерела ІЧ- та УФ- випромінювань. Продукт подається в шнековий транспортер, який переміщує його вздовж барабана, що обертається. Усередині верхнього барабана встановлені ІЧ-лампи, що призначені для нагрівання і сушіння продукту, після яких продукт потрапляє у нижній барабан. У нижньому барабані продукт опромінюється УФ-лампами, під дією яких відбувається його стерилізація.

УФ-лампи в захисних чохлах розташовані по дузі і закріплені в торцевих стінках барабана. Оброблений продукт розвантажуються і пакується.

Недоліком пристрою є розміщення джерел УФ-випромінювання, що не забезпечують опромінення продукту, який має вигляд шару, що знижує проникнення УФ-випромінювання по всій глибині продукту і перешкоджає його всебічній обробці. Крім того, ця установка ускладнює технологічний процес за рахунок додаткової операції, яка полягає у розвантаженні та пакуванні продукту. Остання операція не виключає ймовірності повторного забруднення оброблюваного продукту, оскільки включає розвантаження (пересипання) ще в одну ємкість, а тільки після цього пакування.

Відома також установка для обробки сипких продуктів опроміненням (патент РФ 2157650, А 32 L 1/025, 07.06.99). Установка містить завантажувальний і розвантажувальні пристрої, робочу камеру у вигляді похилого барабана, на стінках якого є виступи, що переміщують продукт. Усередині барабана встановлено касети з джерелами ІЧ- та УФ-випромінювань. У барабан за допомогою спеціального пристрою подається повітря, яке видаляє пил і сторонні включення методом аспірації. З пристрою завантаження продукт подається в барабан, де одночасно рухається в наповненій комірці вгору по напрямку обертання барабана і до розвантажувального пристрою. Переміщуючись, частинки продукту перекочуються і в падінні повертаються різними сторонами щодо джерел ІЧ- та УФ-випромінювання. Час перебування продукту в зоні опромінення регулюється кутом нахилу платформи.

Конструкція пристрою передбачає пересипання і перемішування продукту, що дає змогу опромінювати частинки під час падіння з усіх боків. Проте групування ламп в касети і їх розташування в центрі барабана не забезпечує з достатньою надійністю нормативної дози опромінення оброблюваного продукту. Це відбувається тому, що під час падіння в барабані й проходження зони опромінення частинки сипкої речовини рухаються нерівномірно. Зазначені особливості руху частинок оброблюваної речовини при розташуванні ламп у пристрої не враховувалися, тому за час проходження зони опромінення вони не отримували необхідної для знезараження УФ-дозы. Варіювання часу обробки тільки за рахунок нахилу барабана не може забезпечити необхідну дозу, оскільки за великого кута нахилу барабана швидкість падіння

частинок збільшується, а за малих кутів продукт не буде перемішуватися і пересипатися з достатнім ступенем інтенсивності. За таких умов частина продукту, особливо на периферії барабана, взагалі не опромінюватиметься. Крім того, якщо лампи розташовано так, створюються зони низької інтенсивності випромінювання, потрапляючи в які, продукт також недостатньо опромінюється.

Формування мети статті. Проаналізувавши запропоновані методи та установки бактерицидного знезараження сипких продуктів, колектив науково-технічного (НТЦ) Полтавського університету економіки і торгівлі (ПУЕТ) розробив технологію і дослідний зразок установки для сипких продуктів харчової промисловості (сухе молоко, білкова маса тощо).

Мета запропонованого технічного рішення полягає в необхідності розроблення для сипких харчових продуктів ефективного методу бактерицидного знезараження мікроорганізмів зі збереженням біологічної цінності продукту, спрощення процесу знезараження, зниження енергетичних затрат.

Виклад основного матеріалу. Під час розроблення технології та установки бактерицидного знезараження сипких продуктів враховано всі позитивні і негативні сторони УФ-випромінювання: інтенсивність, спектр випромінювання, сильне УФ-поглинання частинками, необхідність всебічної обробки тощо.

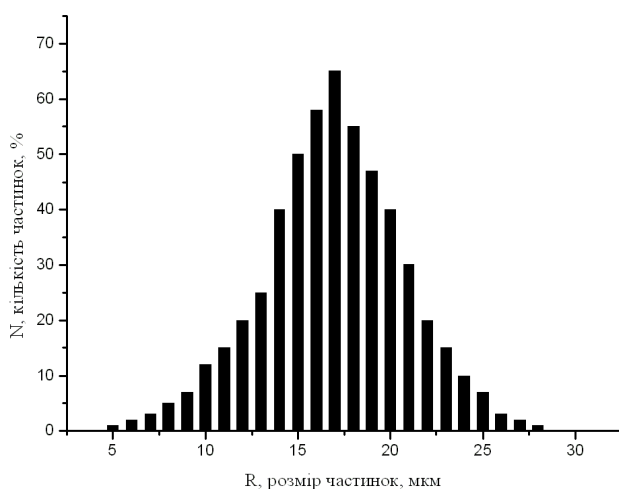
Технічний результат досягається за рахунок конструктивних особливостей установки знезараження сипкого продукту, яке ділиться на два етапи: перший етап – розсіювання на віброситі, а другий етап – опромінення в камері УФ-лампами з необхідною дозою опромінення.

Пристрій являє собою камеру у вигляді циліндра довжиною до 1,5 м, в якій рівномірно по периметру і відповідно по всій довжині розміщуються газорозрядні УФ-лампи низького тиску. Над камерою поміщено завантажувальний бункер, з якого подається продукт на вібросито 1–3 сита діаметром 200 мм з розміром комірок від 800 до 300 мкм. Вібросито, забезпечуючи попереднє розсіювання, перешкоджає потраплянню агломерованих частинок в камеру опромінення, де під дією УФ-випромінювання проходить процес знезараження. Для ефективного розсіювання на ситах вологість продукту для знезараження не повинна перевищувати 6 %. Частинки в камері опромінення (прямо-

кутний циліндр) після розсіювання рухаються під дією вільного падіння. Після проходження камери опромінення об'єкт знезараження потрапляє відразу в ємкість для пакування, щоб запобігти пересипанню та ймовірності появи спорових форм бактерій та мікрофлори.

Для забезпечення оптимізації технологічного процесу та досягнення поставленої мети ми виконали необхідні розрахунки бактерицидної дози опромінення залежно від видів мікроорганізмів та їх чутливості до УФ-опромінювання, враховуючи такі параметри: розміри частинок і час перебування порошкової маси в камері опромінення.

Лінійні розміри частинок сипкого продукту визначали за допомогою діоптрійної наводки окуляра 8 мікроскопа МБС-9. Підрахунки частинок проводили на трьох полях розміром 1 мм^2 в кількості не менше ніж 100 шт. Для розрахунків використовували середнє значення отриманих розмірів. Результати розподілу гранулометричного складу досліджуваного порошкового матеріалу подано на рисунку. Встановлено, що гранулометричний склад (розміри частинок) досліджуваного порошкового об'єкта у межах від 5 до 30 мкм.



Гранулометричний склад порошкової сипкої маси
в процентному співвідношенні

Частинки, розмір яких не перевищує декілька десятків мікрон, рухаються в камері опромінення під дією сили вільного падіння. Враховуючи розміри частинок і опір повітря в камері опромінення, наші розрахунки показали, що в зоні обробки частинки порошкової маси перебувають не менше від однієї секунди. Враховуючи час падіння частинок у камері, ми розрахували необхідну мінімальну дозу опромінення, зважаючи на виявлені бактерії та їх стійкість до УФ-випромінювання [3].

У відомих конструкціях установок продуктивність і розміри опромінювальної камери розраховують за стандартними методиками [5–7] з використанням експериментально визначених об'ємних доз для інактивації різних видів мікроорганізмів H_V . Недоліком такого підходу є те, що об'ємна доза H_V залежить від геометрії камери для опромінення і ступеня перемішування частинок. Частинки оброблюваного сипкого продукту, які розміщені ближче до УФ-лампи-опромінювача, отримуватимуть «надлишкову» дозу, а частинки, розташовані біля стінок камери, – недоотримають необхідної дози (за достатнього середнього значення H_V). Для ліквідування цього недоліку пропонують розміри камери установки вибирати із умов, за яких мінімальна опроміненість $E_{\min}$ для найменш опромінюваних ділянок камери була б достатньою для створення поверхневої дози H_S , необхідної для інактивації мікроорганізмів [8, 9]. Інші ділянки отримуватимуть «надлишкове» опромінення, що тільки підвищує надійність знезараження. Важливим чинником є те, що передозування під час УФ-опромінювання виключається [10].

Результати показали, що обробка УФ-опроміненням дає змогу здійснити знезараження сипких продуктів. Наприклад, під час знезараження білкової маси отримані такі результати: загальна мікробіологічна кількість бактерій зменшилася на 3–4 порядки (ефективність знезараження становить 99,9 %); бактерії групи кишкової палички (БКП) не виявлені, в оброблюваному продукті відзначено також істотне (більш ніж на 2 порядки) зниження загального ступеня інактивації дріжджами та пліснявими грибами. Дослідження проводили на базі ТОВ «Бучацький сирзавод» м.Бучач, Тернопільської області. Мікробіологічний аналіз партій білкової маси до і після опромінення проводили в атестованій лабораторії ТОВ «Бучацький сирзавод».

Висновки. Отримані експериментальні результати показали, що ефективність знезараження залежить від багатьох факторів: дози опромінення, рівномірності та ефективності опромінення, а також від характеристик оброблюваного матеріалу: розміру частинок, вологості й однорідності, їх прозорості для УФ-опромінювання тощо.

Оскільки вчені останнім часом приділяють велику увагу використанню ультрафіолетового опромінення та його властивостям в повсякденному житті, то одним з напрямів наших досліджень є вивчення знезараження

поверхонь і повітря [4] під дією ультрафіолету залежно від температури, вологості, часу і потужності опромінення. Результати наших досліджень будуть викладені в наступних роботах.

1. Мейер А., Зейтц Э. Ультрафиолетовое излучение. Получение, измерение и применение в медицине, биологии и технике / пер. с нем. – М.: Иностранная литература, 1952. – 574 с. 2. Stephen B. Martin Jr., Chuck Dunn, James D. Freihaut, William P. Bahnfleth, Josephine Lau, Ana Nedeljkovic-Davidovic. Бактерицидное ультрафиолетовое облучение. Современные эффективные методы борьбы с патогенной микрофлорой // ASHRAE JOURNAL. – 2008;50(8). 3. Методические указания МУ 2.3.975-00. Применение ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздушной среды помещений организаций пищевой промышленности, общественного питания и торговли продовольственными товарами. – Минздрав РФ, 2000. 4. Semenov A. Kozhushko G. Bactericidal irradiators for

ultraviolet disinfection of indoor air // European Applied Sciences. – Stuttgart, Germany, 2013. – 1(13) – P. 226–228. – ISSN 2195-2183. 5. Белявский М.П., Вассерман А.Л., Рубинштейн П.В. Методика контроля потока излучения бактерицидных ламп в процессе их эксплуатации // Светотехника. – 2001. – № 1. – С. 6–8. 6. Вассерман А.Л. Ультрафиолетовые бактерицидные установки для обеззараживания воздушной среды помещений. – М.: Дом света, 1999. – Вып. 8(20). 7. Сарычев Г.С. К расчету бактерицидных установок / Светотехника. – 2005. – № 1. – С. 62–63. 8. Матвеев А.Б., Лебедева С.М., Петров В.И. Электрические облучательные установки фотобиологического действия / под ред. д.т.н. С.П. Решенова – М.: МЭИ, 1989. 9. Методика виконання вимірювань параметрів ультрафіолетового випромінювання. MBV 11-038-2007, від 1 квітня 2007 р. 10. Masschel I., Debacker E., Chebakbak S. Etude sur modele dela disinfection de lean par rayonnement ultraviolet // Rev.sci.can. 1980, – № 2. – P. 29–41.

УДК 378.147:006

ХАРАКТЕРИСТИКА СКЛАДОВИХ КОНЦЕПЦІЙ ПІДГОТОВКИ МАГІСТРІВ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ «ЯКІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ» У НУБІП УКРАЇНИ

© Гуменюк Галина, Сілонова Наталія, Тавлуй Інна, 2013

Національний університет біоресурсів і природокористування України, факультет харчових технологій та управління якістю продукції АПК, вул. Потехіна 16, корп. 12, м. Київ, 03127

Проаналізовано складові концепції підготовки магістрів спеціальності «Якість, стандартизація та сертифікація». Концептуальна основа підготовки магістрів полягає у поєднанні управління якістю, стандартизації та сертифікації, які визначають проблематику та практичне застосування магістерської роботи і, в результаті її виконання, містять інноваційний елемент.

Пронализиовано составляющие концепции подготовки магистров специальности «Качество, стандартизация и сертификация». Концептуальная основа подготовки магистров заключается в сочетании управления качеством, стандартизации и сертификации, которые определяют проблематику и практическое применение магистерской работы и, в результате ее выполнения, содержат инновационный элемент.

In article analysed the conception constituents of preparation of master's degrees of speciality is conducted «Quality, standardization and certification». Conceptual basis of preparation of master's degrees consists in combination of quality management, standardizations, certifications that determine range of problems and practical application of master's degree work and as a result of her implementation contain an innovative element.

Постановка проблеми. В умовах економічного зростання і розвитку промислового виробництва важливим є забезпечення конкурентоздатності його про-

дукції, провідна роль у забезпеченні якої належить фахівцям із різних напрямів прикладної науки. Специальність “Якість, стандартизація та сертифікація”

забезпечує промислові підприємства, недержавні структури, малий бізнес відповідними кадрами. Спеціалісти з якості, стандартизації та сертифікації працюють: в іспитових лабораторіях і відділах з сертифікації якості; в організаціях, які видають вітчизняні та підтверджують закордонні сертифікати якості, без яких товар не може бути розмитнений; в експертних центрах, на підприємствах з оцінки якості й безпеки виробів і виробництв, з технічного аудиту, консалтингу вітчизняних і закордонних фірм; в органах технічного й екологічного нагляду; у структурах стандартизації в усіх напрямках; в експертних відділах банків, які визначають інвестиційну політику; у страхових і оцінних компаніях зі страхування й оцінки основних фондів виробництв; в експертних організаціях, які встановлюють готовність різних підприємств до виконання видів робіт, що потребують ліцензування. Як свідчить попередній аналіз, ці випускники повинні мати підготовку універсального характеру, оскільки їхня діяльність поширюється на будь-яке виробництво з урахуванням сучасних соціально-економічних відносин, а від якості підготовки фахівців зазначеної спеціальності залежатиме майбутня професійна діяльність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Зважаючи на особливості специфіки українського освітнього простору, актуальними напрямками підготовки магістрів є визначення: концептуальних засад розроблення національної рамки кваліфікацій, що дасть змогу чітко визначити місце випускників бакалаврату та магістратури на сучасному ринку праці; оптимального об'єму вибіркової частини змісту освіти з метою надання ВНЗ більшої самостійності для підготовки унікальних конкурентоспроможних магістерських програм; оптимальних термінів підготовки магістрів різних спеціальностей; вимог до написання та захисту магістерської роботи, які уособлюватимуть високий статус магістра [1].

Формулювання мети статті. Метою цієї статті є визначення концептуальних складових та їх практичне застосування на завершальному етапі підготовки магістрів спеціальності «Якість, стандартизація, сертифікація» у НУБіП України.

Виклад основного матеріалу. «Якість, стандартизація та сертифікація» – це спеціальність, що вирішує

завдання та проблеми гармонійного та комплексного розвитку виробництва товарів та послуг на основі сучасних методів управління та контролю діяльності підприємств та організацій, інформаційних технологій, стандартів, методів загального управління якістю, охорони навколишнього середовища та перспективних інноваційних технологій.

Спеціальність «Якість, стандартизація та сертифікація» орієнтована на:

- розроблення проблем впливу стандартизації на прискорення науково-технічного прогресу, підвищення безпечності та конкурентоздатності продукції та послуг, результативності технологічних систем виробництва, на удосконалення систем управління якістю продукції;

- розроблення організаційних та методичних основ стандартизації, сертифікації та управління якістю продукції у ринкових умовах;

- розроблення шляхів підвищення результативності (у всіх її складових – економічність, прибутковість, потужність, дієвість, умови трудової діяльності, нововведення) на основі принципу інтегрованого управління якістю та вимог міжнародних стандартів ISO серії 9000, 14000 та положень Всеохопного управління якістю (TQM).

Завершальним етапом підготовки фахівця є виконання магістерської роботи, що являє собою самостійну науково-дослідницьку кваліфікаційну роботу, яка синтезує підсумок теоретичної та практичної підготовки у межах нормативної та варіативної складових освітньо-професійної програми (ОПП) підготовки магістра за відповідною спеціальністю і є формою контролю набутих студентом у процесі навчання інтегрованих знань, умінь і навичок, які необхідні для виконання професійних обов'язків, передбачених освітньо-кваліфікаційною характеристикою (ОКХ). Основне завдання роботи – продемонструвати рівень наукової кваліфікації автора, вміння самостійно вести науковий пошук і вирішувати конкретні наукові завдання. Тому вона, з одного боку, має узагальнювальний характер, оскільки є своєрідним підсумком підготовки за відповідною ОПП, а з іншого – це самостійне оригінальне наукове дослідження студента, що має практичну цінність для підприємств, організацій та установ [2].

Для успішного вирішення завдань дипломного проектування студенту рекомендовано використовувати результати виконання курсових робіт, індивиду-

альних завдань, проходження ознайомчої та виробничої практик.

Для цього випускна кафедра формує базу даних підприємств-роботодавців, де студенти проходитимуть виробничу практику. Під час практики студенти не лише виконують запланований обсяг робіт, але й проводять фактичний аналіз стану підприємства, досліджують його сильні та слабкі сторони, аналізують стратегію розвитку. Саме ця інформація згодом слугує основою вибору одного із напрямів (управління якістю, стандартизація або сертифікація) для підготовки інноваційної складової магістерської роботи та розроблення рекомендацій щодо покращення результатів діяльності підприємства, в умовах якого виконується робота [3].

Проходячи виробничу практику на підприємстві чи в організації, студентам потрібно отримати таку інформацію:

- Характеристика підприємства та продукції, що випускається.
- Опис системи менеджменту якості (керівництво з якості, політика у сфері якості, стандарти підприємства, організаційна структура).
- Опис технологічного процесу.
- Методики оцінки якості продукції.
- Забезпечення нормативними документами продукції, що випускається.
- Програми випробувань продукції.
- Основні заходи з охорони праці.
- Основні заходи з охорони навколишнього середовища.
- Розрахунок економічної ефективності виробництва.

Після аналізу отриманої інформації необхідно діагностувати дослідне підприємство та вибрати один із напрямів діяльності:

- управління якістю продукції, процесів чи послуг;
- розроблення нормативного документа;
- підготовка підприємства до сертифікації.

Концептуальна основа підготовки магістрів полягає у поєднанні трьох складових – управління якістю, стандартизація, сертифікація (див. рисунок), які визначають проблематику магістерської роботи і, в результаті її виконання містять інноваційний елемент.

Далі зазначено інформацію, що повинна відображати вибраний напрям магістерського дослідження.

Вимоги до складової «Управління якістю» формують у студентів уявлення щодо категорії «якість», як відповідність вимогам споживачів, що, своєю чергою, є основою конкурентоспроможності будь-якого продукту (послуги) в ринкових умовах. Поглиблене вивчення концепції загального управління якістю, системного аналізу, відповідних методів та інструментів уможливорює їх безпосереднє використання під час вирішення проблематики конкретних підприємств аграрної сфери. Окрім того, в програмах дисциплін цього блока представлено розширене поняття «якість»: від характеристики, притаманної продукту, до характеристики, притаманної системі управління підприємством, із використанням відповідних методологій (система управління якістю, система керування довкіллям, система управління безпекою і гігієною праці, система збалансованих показників, модель ділової досконалості, управління знаннями тощо); від орієнтації на споживача до задоволеності усіх зацікавлених сторін. Вимоги до якості можуть бути впроваджені у діяльність підприємств, зокрема за допомогою нормативних документів.



Концептуальна основа підготовки магістрів спеціальності «Якість, стандартизація, сертифікація»

Вимоги до складової «Стандартизація», окрім комплексного уявлення про роль і значення стандартизації в системі технічного регулювання країн світу й України зокрема, містять практичну спрямованість на розроблення нормативних документів, таких як проекти стандартів національного рівня, проекти галузевих стандартів, проекти стандартів підприємств та проекти технічних умов. Практичні навички повинні бути відображені у: наведенні переліку

національних, галузевих стандартів, технічних умов, які використовуються у виробництві продукції, що розглядається, описі технічних вимог до продукції, що розглядається відповідно до стандарту, технічного регламенту, що використовуються для її виробництва, розробленні положення про підрозділ підприємства «Відділ стандартизації», із визначенням структури, цілей та завдань, які вирішує цей підрозділ, розробленні посадових інструкцій працівників відділу, описі порядку здійснення державного контролю та нагляду за дотриманням вимог стандартів на підприємстві, маркування продукції знаком відповідності національним стандартам, інформаційному забезпеченні робіт зі стандартизації на підприємстві, побудові параметричного ряду продукції, що розглядається, обґрунтуванні вибору оптимальної градації параметричного ряду.

Вимоги до складової «Сертифікація» полягають у вивченні державної політики у сфері підтвердження відповідності чинних нормативно-правових актів України та стандартів УкрСЕПРО. Практична націленість полягає у виконанні таких розробок у галузі сертифікації продукції, послуг, систем менеджменту якості виробництв та робіт: обґрунтуванні необхідності проведення сертифікації з вказанням пунктів законодавчих актів, що визначають порядок проведення сертифікації, визначенні та оформленні порядку і правил проведення сертифікації у вибраній системі сертифікації, обґрунтуванні показників якості продукції (послуг), що підлягають підтвердженню відповідності встановленим вимогам, виборі, обґрунтуванні та підтвердженні доречності застосування методу підтвердження відповідності встановленим вимогам, виборі та обґрунтуванні запропонованої схеми сертифікації, визначенні коду продукції (послуги), зазначенні організації метрологічного забезпечення підтвердження відповідності продукції (послуг) встановленим вимогам, оформленні комплексу документів для підтвердження відповідності, визначенні складу та розробленні функціональних обов'язків спеціалістів для виконання робіт із сертифікації, визначенні основних небезпек продукції (послуги) для споживачів та небезпечних факторів її виробництва тощо [4, 5].

Отже, магістерська робота вміщує критичний аналіз літературних джерел та їх узагальнення, опис досліджених фактів, явищ і закономірностей та одержаних власних результатів досліджень. Висновки ґрунтуються на власних дослідженнях, викладаються чітко і лаконічно. Запропоновані інноваційні рішення

мають бути науково обґрунтованими з відповідним аналізом та прогнозом щодо результатів їх упровадження із аналізом ризиків, що при цьому можуть виникнути [6]. Магістерська робота спеціальності «Якість, стандартизація та сертифікація» передбачає розроблення основної теми, пов'язаної з підготовкою системи менеджменту якості підприємства до сертифікації, управлінням якістю продукції, що випускається, підвищенням ефективності функціонування системи менеджменту якості, із можливим застосуванням інструментів управління якістю для технологічного процесу чи окремих стадій процесу, спрямованих на підвищення рівня якості продукції.

Інноваційна складова, створена в результаті виконання роботи, безпосередньо визначається очікуваною ефективністю, яка виявляється як: покращення використання ресурсів, збільшення обсягів продажу, одержання прибутку від упровадження винаходів, патентів, ноу-хау, ліцензійної діяльності; зміна асортименту продукції та поліпшення її якості; створення нових товарів і послуг, що повніше задовольняють потреби споживача; зміна умов праці та підвищення її ефективності, приріст і накопичення нових знань, умінь і навичок; підвищення кваліфікації робітників; можливість навчання, зміни професії і соціального статусу працівника; підвищення рівня задоволеності умовами та змістом праці; можливість самореалізації, покращання системи управління тощо.

Успішний захист магістерської роботи на засідання ДЕК є правовою основою для присвоєння відповідної кваліфікації.

Висновки. Отже, у статті проаналізовано складові концепції підготовки магістрів спеціальності «Якість, стандартизація, сертифікація» у НУБіП України та обґрунтовано їх шляхи взаємодії і практичне застосування під час виконання магістерських робіт.

1. Кліх Л.В., Тверезовська Н.Т. Концептуальні основи реалізації підготовки магістрів у НУБіП України [Електронний ресурс]. – Режим доступу http://archive.nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/hvnaui. 2. П'ятницька-Позднякова І. С. Основи наукових досліджень у вищій школі: навч. посіб. – К., 2003. – 116 с. 3. Гуменик Г., Сілонова Н., Тавлуй І. Практичні аспекти підготовки магістрів спеціальності «Якість, стандартизація та сертифікація» // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2012. – № 5. – С. 29–33.

4. Освітньо-кваліфікаційна характеристика магістра за спеціальністю специфічних категорій 8.000001 «Якість, стандартизація та сертифікація». Кваліфікації 1238 «Керівник установи (структурного підрозділу) зі стандартизації, сертифікації та якості». – [Чинний від 29.05.2006]. – К. : Міністерство освіти і науки України, 2006. – 23 с. – (Галузевий стандарт вищої освіти України). 5. Освітньо-професійна програма підготовки магістра за спеціальністю специфіч-

них категорій 8.000001 «Якість, стандартизація та сертифікація». Кваліфікації 1238 «Керівник установи (структурного підрозділу) зі стандартизації, сертифікації та якості». – [Чинний від 29.05.2006]. – К. : Міністерство освіти і науки України, 2006. – 58 с. – (Галузевий стандарт вищої освіти України). 6. Лисенко В.П., Зазимко О.В., Кліх Л.В., Тракай В.Г. Положення про підготовку і захист магістерської роботи. – К., 2009. – 20 с.

УДК 006.91:681.121

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЯКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ПАРЦІАЛЬНОГО ВИТРАТОМІРА

© Малісевич Віталій, Середюк Орест, 2013

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Проаналізовано останні наукові дослідження у сфері витратометрії, що стосуються вимірювання витрати або об'єму природного газу з одночасним урахуванням якісних параметрів робочого середовища. Розроблено математичну модель функціонування парціального витратоміра на базі трубки Піто, яка передбачає врахування якісних параметрів робочого середовища. Досліджено вплив компонентного складу природного газу і його робочих параметрів на непостійність теплопровідності й теплоємності природного газу.

Проанализированы последние научные исследования в области расходомерии, касающиеся измерения расхода или объема природного газа при одновременном учете качественных параметров рабочей среды. Разработана математическая модель функционирования парциального расходомера на базе трубки Пито, которая предусматривает учет качественных параметров рабочей среды. Исследовано влияние компонентного состава природного газа и его рабочих параметров на непостоянство теплопроводности и теплоемкости природного газа.

The last scientific researches in the field of flow measurement, concerning measurements of flow rate or volume of natural gas at the simultaneous accounting of qualitative parameters of a working environment are analyzed. The mathematical model of partial flowmeter functioning on the basis of a Pitot tube which provides the accounting of working environments qualitative parameters is developed. Influence of natural gas blend composition and its working parameters on inconstancy of natural gas thermal conductivity and heat capacity is investigated.

Постановка проблеми. В обліку природного газу все більшої актуальності набуває питання не тільки визначення його об'єму чи об'ємної витрати, але й цих параметрів у сукупності з енергетичними характеристиками природного газу, зокрема теплотворною здатністю. Як відомо, енергетичні характеристики природного газу визначаються не тільки його густиною, але і компонентним складом, який за однакової густини може по-різному впливати на теплотворну здатність палива. Оскільки у світовій практиці все в більших масштабах комерційний розрахунок за спожитий газ

здійснюється з урахуванням його енергетичної цінності, в Україні актуалізується необхідність застосування нових підходів і вдосконалення відомих аспектів вирішення питань з обліку природного газу, які сприяють розв'язанню питань енергозбереження.

Поряд з цим доцільно перевірити метрологічні характеристики промислових лічильників газу впродовж міжперевірних інтервалів, у зв'язку з чим актуальним є бездемонтажний контроль метрологічних характеристик лічильників безпосередньо на місці експлуатації. Водночас наявні пристрої, за допомогою

яких сьогодні здійснюють контроль метрологічних характеристик промислових лічильників газу, не передбачають врахування якісних параметрів природного газу. Такий підхід не дає можливості перейти на нові методи обліку природного газу з урахуванням його енергетичних характеристик.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень у сфері врахування якісних параметрів під час витратометрії природного газу показав, що створені інформаційно-вимірювальні комплекси для вимірювання витрати або об'єму природного газу з одночасним врахуванням якісних параметрів (компонентного складу або густини), які визначають переважно хроматографічним методом або густиномірами [1].

Контроль якісних характеристик природного газу має практичну цінність для досягнення підвищення точності діагностування або експрес-контролю робочих засобів вимірювання зі зведенням результатів вимірювання об'єму або об'ємної витрати природного газу до стандартних умов [2].

Водночас сьогодні є обмежена кількість засобів вимірювальної техніки, які би опосередкованим методом враховували якісні характеристики природного газу при його обліку. Відомі нормативні документи враховують якісні параметри природного газу передусім для умов визначення його теплотворної здатності [3]. Нові наукові дослідження [4] стосуються розроблення алгоритму розрахунку коефіцієнта теплопровідності природного газу для вирішення питань теплообміну між потоком природного газу і зовнішнім середовищем і для розв'язання задач підвищення точності обліку природного газу. Однак отримані алгоритми стосуються визначення теплопровідності метану від тиску за різних температур і практично відсутні дослідження впливу на теплопровідність з урахуванням його частки у природному газі.

Один із аспектів необхідності дослідження впливу якісних параметрів природного газу на його теплофізичні характеристики полягає у обґрунтуванні можливості застосування парціальних витратомірів природного газу вдосконаленої конструкції на базі трубки Піто. Розроблений авторами витратомір [5] передбачає вимірювання витрати природного газу з корекцією щодо його теплопровідності, що забезпечує можливість вимірювання енергетичної цінності природного газу. Цей витратомір містить закріплену на трубо-

проводі з робочим середовищем напірну трубку з приймачами повного і статичного тиску і блоком вимірювання витрати, до складу якого, на відміну від відомих, входить термочутливий давач, блок вимірювання температури і блок визначення теплопровідності природного газу. Використання у парціальному витратомірі термочутливого давача з блоком для визначення теплопровідності природного газу з урахуванням температури і локальної швидкості робочого середовища дає змогу визначати теплопровідність робочого середовища. Розміщення напірної трубки і термочутливого давача на одній осі вздовж трубопроводу дає можливість визначати не тільки витрату робочого середовища, але і здійснювати коригування на його енергетичну цінність, наприклад, з урахуванням термодинамічних властивостей, зокрема теплопровідності природного газу.

Мета роботи. Метою роботи є розроблення технічного забезпечення і математичного обґрунтування для створення витратомірів і лічильників, які би функціонували з врахуванням якісних параметрів робочого середовища.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для практичної реалізації парціального витратоміра природного газу необхідно розробити математичну модель його функціонування, яка враховує якісні параметри робочого середовища.

Термочутливим елементом парціального витратоміра є тонка коротка металева дротина, що нагрівається електричним струмом.

Кількість тепла Q , яке виділяє електричний струм, проходячи через дrottину, становить:

$$Q = I^2 R_d, \quad (1)$$

де I – сила електричного струму; R_d – активний електричний опір дrottини.

Кількість тепла Q , яке переноситься за одиницю часу від дrottини довжиною l з рівномірно розподіленою температурою до робочого середовища, дорівнює [6]:

$$Q = \alpha p d l (T_d - T_r), \quad (2)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К); d – діаметр дrottини; l – довжина дrottини; T_d , T_r – температура дrottини і газу відповідно.

За умови функціонування парціального витратоміра [5] кількість тепла, яке виділяється на дrottині,

повинна дорівнювати кількості тепла, що передається до робочого середовища:

$$I^2 R_d = \alpha p d l (T_d - T_r). \quad (3)$$

Завдяки теплопровідності, вільній та вимушеній конвекції та випромінюванню дротина охолоджується. Впливом випромінювання і вільної конвекції під час вимірювання витрати газу за умов турбулентного режиму течії можна знехтувати [6].

Для визначення коефіцієнта α скористаємося критерієм Нуссельта Nu [6]:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot l_r}{d}, \quad (4)$$

де l_r – коефіцієнт теплопровідності газу при його температурі T_r .

Описати процес теплообміну циліндра з газовим середовищем, що рухається перпендикулярно до його осі, можна на основі емпіричної залежності, виведеної Крамерсом [7]:

$$Nu = 0,42 Pr^{0,2} + 0,57 Pr^{0,33} Re^{0,5}, \quad (5)$$

де $Pr = \frac{c_p m_r}{l_r}$ – критерій Прандтля; $Re = \frac{r_r v d}{m_r}$ – критерій Рейнольдса.

У виразах для критеріїв Pr і Re використано позначення: c_p – питома теплоємність газу за постійного тиску; m_r – коефіцієнт динамічної в'язкості газу при температурі T_r ; r_r – густина газу при температурі T_r ; v – швидкість газу.

Після підстановки (4) і (5) в (3) отримуємо:

$$I^2 R_d = p l l_r (T_d - T_r) \left(0,42 Pr^{0,2} + 0,57 Pr^{0,33} Re^{0,5} \right). \quad (6)$$

Це рівняння описує функціонування термоанемометричного перетворювача, що входить до складу парціального витратоміра. До його складу входить також трубка Піто, функціонування якої можна описати за відомою формулою:

$$\Delta p = \frac{r_r v^2}{2}, \quad (7)$$

де Δp – різниця між динамічним і статичним тиском на трубці Піто.

Виразивши з рівняння (7) парціальну швидкість потоку v і підставивши вираз для неї у (6), отримаємо таку математичну модель функціонування парціального витратоміра:

$$I^2 R_d = p l l_r (T_d - T_r) \left(0,42 Pr^{0,2} + 0,57 Pr^{0,33} \left(\frac{(2 \Delta p r_r)^{0,5} d}{m_r} \right)^{0,5} \right). \quad (8)$$

З отриманого рівняння видно, що на результати вимірювання витрати впливають теплофізичні характеристики робочого середовища l_r і c_p , а також фізичні параметри природного газу: r_r і m_r (останнє входить у критерій Pr).

У процесі функціонування парціального витратоміра непостійність вказаних теплофізичних характеристик робочого середовища впливатиме на результати вимірювання, що потребує проведення кількісного дослідження їх зміни.

Враховуючи те, що даних про теплопровідність природного газу як суміші його складових в довідковій літературі немає, то здійснимо моделювання зміни термодинамічних параметрів газу за різних умов експлуатації витратоміра. Моделювання проведено для діапазону робочих тисків (0,1–2,0) МПа з кроком 0,1 МПа і фіксованих значень температури 0, 10 і 20 °С з урахуванням зміни компонентного складу природного газу. За основу при моделюванні вибрано такий склад газу, який містить за об'ємом 93 % метану, 3,3 % етану, 1,8 % пропану, 1,5 % азоту та 0,4 % вуглекислого газу. В процесі моделювання змінювався вміст метану в діапазоні (89–97) %, етану (0–6,6) %, пропану (0–3) %, азоту (0–3) %, вуглекислого газу (0–0,8) %. У разі зміни вмісту кожного з компонентів вміст решти складових пропорційно збільшувався або зменшувався для досягнення суми 100 %.

Теплопровідність природного газу розраховано як теплопровідність суміші газів, що входять до його складу. Для цього застосовано рівняння [8]:

$$l = \frac{\sum_{i=1}^n y_i l_i}{\sum_{j=1}^n y_j A_{ij}}, \quad (9)$$

де l , l_i – теплопровідність природного газу і його i -х компонент відповідно; y_i , y_j – мольні частки i -х і j -х компонентів, яким відповідно присвоюються вказані індекси і які розраховувалися відповідно до заданих об'ємних концентрацій газу.

Параметр A_{ij} для формули (9) розраховано так [8]:

$$A_{ij} = \frac{\left(1 + \left(l_i / l_j\right)^{1/2} \left(M_i / M_j\right)^{1/4}\right)^2}{\left(8 \cdot \left(1 + M_i / M_j\right)\right)^{1/2}}, \quad (10)$$

де M_i , M_j – молекулярна маса i -х та j -х компонентів.

Мольні частки компонентів розраховано відповідно до заданих об'ємних концентрацій газу за формулою [3]:

$$y_i = \frac{r_i / z_{ci}}{\sum_i (r_i / z_{ci})}, \quad (11)$$

де r_i – об'ємна частка i -го компонента; z_{ci} – фактор стисливості i -го компонента газу за стандартних умов, який розраховується згідно із [3].

Числові значення теплопровідності λ_i компонентів природного газу визначено з [9] із застосуванням методу інтерполяції.

Результати моделювання наведено на рис.1. Вони відображають зміну теплопровідності природного газу в функціональній залежності від вмісту в ньому метану для модельованого діапазону робочих тисків (0,1–2,0) МПа та фіксованих температур 0 °С (а), 10 °С (б) і 20 °С (в). З графіків є очевидним неоднозначний характер зміни теплопровідності залежно від зміни компонентного складу газу і робочого тиску, що найбільше проявляється при температурі 0 °С. Так, коли збільшується вміст метану за низьких тисків (близько 0,1–0,3 МПа) робочого середовища,

теплопровідність зростає з $27,96 \cdot 10^3$ до $29,75 \cdot 10^3$ Вт/(м·К), а при великих тисках (близько 2,0 МПа) за цих самих умов зростання вмісту метану знижується з $34,07 \cdot 10^3$ до $32,77 \cdot 10^3$ Вт/(м·К) (рис. 1, а). Цей характер зміни теплопровідності практично є аналогічним і за температур 10 і 20 °С, однак зі зростанням тиску і одночасним підвищенням температури ця зміна кількісно стає меншою при 10 °С (рис. 1, б), а при 20 °С теплопровідність навіть дещо зростає з $34,67 \cdot 10^3$ до $34,76 \cdot 10^3$ Вт/(м·К). Також за результатами моделювання, використовуючи отримані графіки, можна виділити ділянки, де теплопровідність несуттєво змінюється через вплив компонентного складу природного газу за певних значень його температури і тиску. Це свідчить про можливість вибору оптимізаційних характеристик щодо умов експлуатації розробленого парціального витратоміра.

Теплоємність природного газу розраховано адитивно з урахуванням теплоємностей кожного із компонентів газу і їх об'ємних часток. Числові значення теплоємності кожного з компонентів взято з [10, 11].

Результати моделювання, наведені на рис. 2, свідчать про однаковий вид закономірностей впливу компонентного складу природного газу та його фізичних параметрів (тиску і температури) на зміну теплоємності газу. При цьому теплоємність зростає зі зростанням вмісту метану і підвищенням тиску і температури природного газу. Хоч ці закономірності загалом достатньо відомі, однак результати моделювання дають змогу кількісно оцінити ступінь впливу компонентного складу і робочих параметрів газу на його теплоємність.

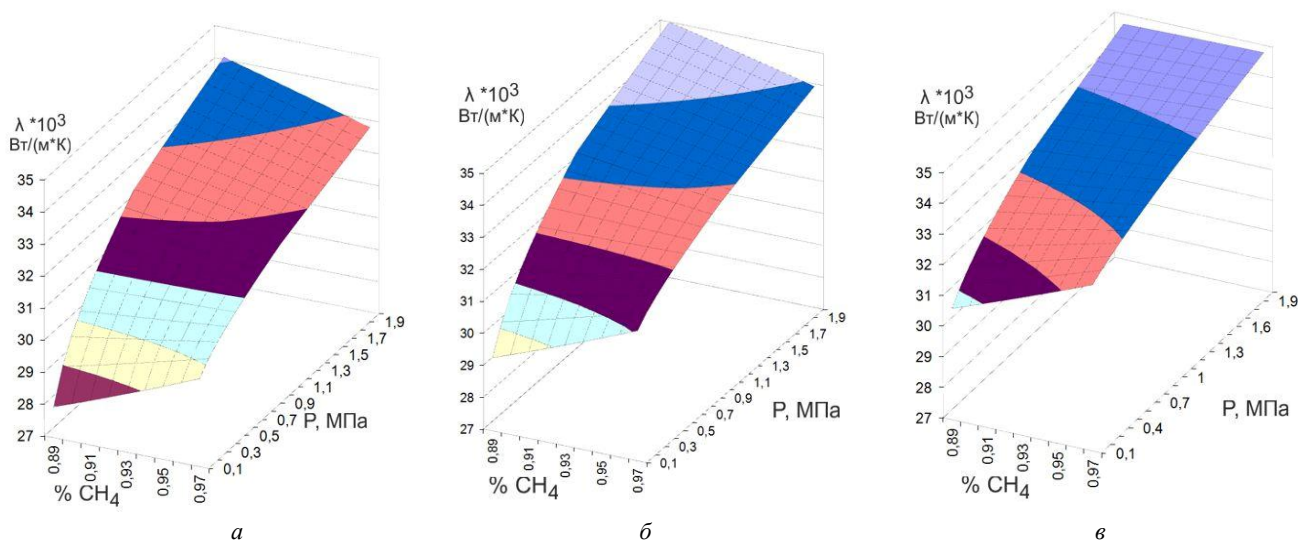


Рис. 1. Графічна залежність зміни теплопровідності природного газу від концентрації в ньому метану у межах (89–97) % для діапазону тиску (0,1–2,0) МПа за температур 0 °С (а), 10 °С (б) і 20 °С (в)

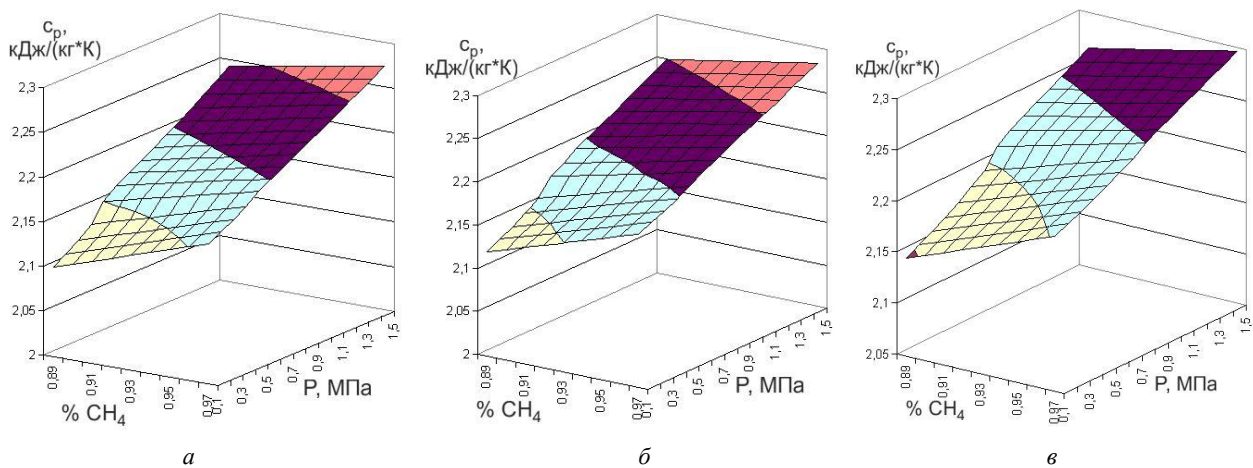


Рис. 2. Графічна залежність зміни теплоємності природного газу від концентрації в ньому метану в межах (89–97) % для діапазону тиску (0,1–1,5) МПа за температур 0 °С (а), 10 °С (б) і 20 °С (в)

Закономірності зміни густини і динамічної в'язкості природного газу, які враховує розроблена модель парціального витратоміра, описуються відомими алгоритмами [3] і можуть бути використані безпосередньо для створення алгоритму роботи досліджуваного парціального витратоміра.

Отримані результати моделювання необхідні для створення математичної моделі парціального витратоміра нової конструкції [5] та обґрунтовують доцільність їх застосування з коригуванням щодо якісних параметрів природного газу.

Висновки. Розроблена математична модель функціонування парціального витратоміра з корекцією щодо якісних параметрів природного газу.

Виконано числове моделювання впливу компонентного складу природного газу і його робочих параметрів на непостійність теплопровідності та теплоємності природного газу.

Отримані результати проведених досліджень обґрунтовують можливість створення парціальних витратомірів, які дають змогу визначати витрату природного газу як енергоносія, тобто з урахуванням енергетичної цінності вимірюваних потоків газу.

1. Облік природного газу: довідник / М.П. Андрійшин, О.М. Карпаш, О.Є. Середюк [та ін.]; за ред. С.А.Чеховського. – Івано-Франківськ: ПП «Сімик», 2008. – 180 с. 2. Малісевич В.В. Моделювання впливу густини і компонентного складу природного газу при

діагностуванні засобів його обліку / В.В. Малісевич, О.Є. Середюк // Методи та прилади контролю якості. – 2011. – № 27. – С.56–62. 3. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки: ГОСТ 30319.1-96. – [Введен с 1997-07-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 14 с. 4. Матіко Ф.Д. Алгоритм розрахунку теплопровідності природного газу / Ф.Д. Матіко, Р.М. Федоришин // Методи та прилади контролю якості. – 2007. – № 18. – С.64–67. 5. Пат. 99887 С2 Україна, МПК (2012.01) G 01 F 1/00. Парціальний витратомір / О.Є. Середюк, В.В. Малісевич. – № а 201114278; заявл. 02.12.11; опубл. 10.10.12, Бюл. № 19. 6. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества: справочник / П.П. Кремлевский. – Л.: Машиностроение, 1989. – 701 с. 7. Крейт Ф. Основы теплопередачи: пер. с англ. / Ф. Крейт, У. Блек. – М.: Мир, 1983. – 512 с. 8. Рид Р. Свойства газов и жидкостей: справ. пособие / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд: пер. с англ.: под ред. Б.И. Соколова. – Л.: Химия, 1982. – 592 с. 9. Справочник по теплопроводности жидкостей и газов / Н.Б. Варгафтик, Л.П. Филиппов, А.А. Тарзиманов [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с. 10. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н.Б. Варгафтик. – М.: Наука, 1972. – 720 с. 11. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов / В.С. Чиркин. – М.: Госуд. изд-во физико-матем. литературы, 1959. – 356 с.

УДК: 378.14:006.3

**АДАПТАЦІЯ ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ
В УМОВАХ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ
ВІДПОВІДНО ДО СТАНДАРТУ ДСТУ ISO СЕРІЇ 9001:2009
(НА ПРИКЛАДІ УКРАЇНСЬКОЇ ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНОЇ АКАДЕМІЇ)**

© Бруєва Вікторія, 2013

Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків

Розглянуто актуальність удосконалення системи менеджменту якості у вищих навчальних закладах відповідно до стандарту серії ISO 9001:2009. Проаналізовано проблеми, що утруднюють розроблення і впровадження системи менеджменту якості в сучасних вищих навчальних закладах. Проаналізовано переваги системи менеджменту якості відповідно до стандарту серії ISO 9001:2009. Запропоновано реформування організаційно-управлінської структури закладу освіти зі створенням відділу менеджменту якості.

Рассмотрено актуальность усовершенствования системы менеджмента качества в высших учебных заведениях в соответствии со стандартом серии ISO 9001:2009. Проведен анализ проблем, сдерживающих разработку и внедрение системы менеджмента качества в современных высших учебных заведениях. Проанализированы преимущества системы менеджмента качества в соответствии со стандартом серии ISO 9001 2009. Предложено реформировать организационно-управленческую структуру образовательного учреждения путем создания отдела менеджмента качества.

In the article examined the improvement of the management system of the educational organization process ISO 9001:2009. The analysis of problems is conducted retentive development and introduction of the system of management of quality in modern higher educational establishments. Advantages of the system of management of quality are analysed in accordance with the standard of series of ISO 9001:2009. It is suggested to reform the organizationally-administrative structure of educational establishment by creation of department of management of quality.

Постановка проблеми. Найголовнішою місією вищого навчального закладу (ВНЗ) є забезпечення потреб галузей економіки висококваліфікованими, конкурентоспроможними фахівцями. Для реалізації цієї місії ВНЗ необхідно мати адекватну, гнучку систему менеджменту, здатну відповідати сучасним вимогам глобалізації, жорсткої конкуренції та інформатизації.

Процес управління у ВНЗ можна охарактеризувати цілою низкою таких властивостей, як складність, багатовекторність прийняття рішень, динамічний перебіг процесів, суперечливий характер взаємозв'язку всіх елементів у системі управління.

Для ефективної роботи ВНЗ, в умовах сьогодення, необхідно реформувати систему управління. Одним зі шляхів комплексного реформування все частіше є удосконалення з розробленням системи менеджменту якості (СМЯ) відповідно до стандарту ДСТУ ISO серії 9001.

Аналіз останніх досліджень. Питання удосконалення системи менеджменту у ВНЗ, створення

ефективної системи управління якістю (СУЯ) розглянуто в багатьох публікаціях. Серед цих публікацій в роботі В.В. Романовського і В.А. Матюшина проаналізовано питання підготовки системи якості вищої школи, подальшої сертифікації її на відповідність вимогам стандартів ISO [1;2]. Практику створення СМЯ у ВНЗ і методологічні підходи до її формування викладено в роботі Е. Єршової, В. Корнева, В. Левшиної [6;16], а якість підготовки фахівців і питання проблем розроблення, впровадження науково-методичного забезпечення в роботах В.М. Приходько [4; 10]. На особливу увагу заслуговують роботи науковців: В.В. Галактіонової, О.І. Волкова, Л.М. Віткіна, Г.І. Хімічевої, А.С. Зенкіна, Т.П. Можасевої та інших, з адаптації ВНЗ під час впровадження СМЯ відповідно до стандарту ДСТУ ISO 9001 [5; 10; 12]. Деякі російські університети розробили системи управління якістю і успішно їх використовують упродовж декількох років. За даними УкрСЕПРО, на практиці освітня галузь України сертифіковано менше від чотирьох десятків систем менеджменту якості [9;11].

Метою статті є дослідження причин, що стримують модернізацію власної системи управління вищих навчальних закладів України та аналіз адаптації вищої школи в умовах впровадження системи управління якістю відповідно до стандарту ДСТУ ISO 9001 шляхом її постійного удосконалення (на прикладі Української інженерно-педагогічної академії).

Виклад основного матеріалу дослідження. Загальновизнано, що система управління якістю вищого навчального закладу – сукупність організаційної структури, методик, процесів і ресурсів, необхідних для здійснення політики у сфері якості за допомогою планування, управління, забезпечення і покращення якості. Політика визначає мету створення і функціонування системи управління якістю та обов'язки вищого керівництва із досягнення цієї мети.

Система менеджменту якості охоплює такі сфери діяльності вищої школи: педагогічну, наукову, виховну, адміністративну, господарську, фінансову, інформаційну. Вони взаємопов'язані й динамічно обмінюються процесами. А саме функціонування системи управління якістю здійснюється за рахунок залучення всього персоналу. Вище керівництво бере на себе повну відповідальність за досягнення цілей, політики в галузі якості.

Можна виділити основні поняття в СМЯ вищого навчального закладу.

Якість освіти – зміст і удосконалення освіти.

Забезпечення якості – фактори, умови і ресурси, за допомогою яких можна досягти мети з якості. Це навчально-методичне середовище, кваліфікація персоналу, підготовка та мотивація студентів, фінансове забезпечення, інформаційне обслуговування. Тобто це потенціал вищого навчального закладу, це можливості в галузі освітньої діяльності.

Якість підготування фахівців – це рівень підготування з дисциплін і спеціальності, рівень освіченості та вихованості, творчого мислення, компетенції. З погляду освітньої діяльності – це результат використання потенціалу вищого навчального закладу.

Система якості – система управління закладу освіти на основі загальновизнаних вимог стандарту ISO 9001.

Система вищої освіти формує найважливіше багатство держави – людський потенціал, тому майбутнє держави залежить від якості вищої освіти.

Специфіку ВНЗ визначає його основна діяльність – освітня, головне завдання якої – виховання і підготу-

вання фахівців, конкурентоспроможних на світовому ринку.

Результативність освітньої діяльності тісно взаємопов'язана з ефективністю виконуваних у закладі наукових досліджень. Саме наукова діяльність дає можливість професорсько-викладацькому складу безперервно удосконалювати і поповнювати свої професійні знання і практичний досвід.

Інформаційний, соціальний та фінансово-економічний напрям діяльності вищого навчального закладу має певні особливості. Вищий навчальний заклад неспроможний повноцінно функціонувати без раціонально організованої адміністративно-господарської структури.

Тому безперервне покращення якості управління у вищій школі та її вплив на якість підготовки фахівців повинно бути стратегічним пріоритетом сучасного ВНЗ.

Аналіз практики функціонування СМЯ в деяких освітніх закладах України дав змогу виявити ряд переваг, а саме:

- конкретну орієнтацію у викладанні кожної дисципліни на кінцеву мету підготування високоякісного фахівця;
- міждисциплінарну інтеграцію процесу навчання;
- повноцінне виконання фундаментальних наук у викладанні загальноінженерних і спеціальних дисциплін;
- злиття теоретичного навчання з практичним;
- раціональне виростання ресурсного потенціалу ВНЗ.

Проте, незважаючи на наявність конкретних переваг, деякі проблеми стримують і ускладнюють розроблення і впровадження системи менеджменту якості у вищому навчальному закладі. Вони полягають в:

- відсутності чіткого розуміння, якого рівня фахівців потребує замовник;
- існуванні різних визначень поняття «якість» і критеріїв її оцінки;
- небажанні керівництва комплексно реформувати систему управління у ВНЗ;
- складнощах стратегічного планування та формування керівництвом політики в галузі якості;
- складнощах у розподілі обов'язків та відповідальності серед вищого керівництва;
- залученні всіх працівників та професорсько-викладацького складу до процесу розроблення системи.

Зауважимо також, що деякі ВНЗ стверджують про наявність системи менеджменту якості лише на тій основі, що в закладі реалізуються необхідні функції: планування, контролю, забезпечення, покращення діяльності. Ці дії – управління ВНЗ. Менеджмент якості передбачає ширший спектр дій. Управління ВНЗ – стратегічний розвиток закладу, оперативна діяльність керівництва основними процесами, забезпечення ресурсами.

Виділимо відмінності між управлінням вищим навчальним закладом і системою менеджменту якості, яка відповідає вимогам стандарту ДСТУ ISO 9001: 2009.

Основними ознаками відсутності СМЯ є:

- відсутність збалансованих повноважень і відповідальності за якість освітніх послуг і їх розподіл між всіма працівниками ВНЗ;
- безсистемне дослідження задоволення зацікавлених сторін;
- розроблення заходів згідно з чинними вимогами зацікавлених сторін;
- використання керівним складом і працівниками ВНЗ інструментарію аналізу, що не дозволяє виявити причини невідповідностей, що виникають;
- розроблені заходи не виключають можливості виявлення повторної невідповідності;
- розроблені заходи спрямовані на пошук винних, а не на причини виникнення невідповідностей;
- нераціональний аналіз діяльності, що не удосконалює якісні показники ВНЗ.

Основними ознаками наявності СМЯ є:

- розподіл необхідних повноважень і відповідальності за якість освітніх послуг між всіма керівниками та працівниками ВНЗ;
- системне вивчення задоволення зацікавлених сторін і облік отриманих результатів у діяльності закладу;
- виявлення майбутніх вимог зацікавлених сторін та розроблення відповідних заходів ВНЗ;
- використання керівним складом і працівниками ВНЗ комплексного інструментарію менеджменту якості;
- розроблення корегуючих і запобіжних дій, спрямованих на виключення причин виникнення і повтору невідповідностей;
- проведення самоаналізу в формі внутрішніх аудитів, самооцінки, аналізу системи менеджменту якості та всіх її процесів вищим керівництвом;
- системне підвищення кваліфікації персоналу, скероване на отримання необхідних компетенцій і

аналіз результативності заходів з підвищення кваліфікації.

Глибокий аналіз досвіду Української інженерно-педагогічної академії і ВНЗ України, де розроблено і впроваджено СМЯ, дає підстави зазначити, що система управління передбачає такі самі види діяльності, але надає їм певний вектор – напрямок руху в сторону якості освітніх послуг, якості процесів управління і забезпечення. Отже, можна стверджувати, що система менеджменту якості покликана упорядкувати динамічний перебіг процесів і є системним засобом покращення діяльності.

Вивчення досвіду керівників деяких освітніх установ України та Росії дає змогу стверджувати, що основні складнощі адаптації ВНЗ, що впровадили СУЯ відповідно до ДСТУ ISO, передусім пов'язані з:

- нераціональною організаційною структурою;
- нераціональними технологіями прийняття рішень;
- неефективним використанням менеджерами свого робочого часу і власних повноважень;
- необ'єктивною системою мотивації персоналу;
- невідповідності рівня компетенції менеджерів новим конкурентним ринковим умовам.

Також зазначимо, що ВНЗ, які розробили і впровадили СМЯ відповідно до вимог стандарту ДСТУ ISO 9001 серії 2009, не завжди проводять реформування структури управління, тим самим не даючи змогу закладу ефективно реагувати на зміни зовнішнього та внутрішнього середовища і адаптуватися до нових економічних умов. На нашу думку, удосконалення організаційної структури ВНЗ є ключовим фактором адаптації закладу в умовах впровадження системи управління якістю відповідно до стандарту ДСТУ ISO 9001:2009.

Так, у 2006 р. в Українській інженерно-педагогічній академії (УІПА) розроблена і впроваджена система управління якістю відповідно до міжнародного стандарту (МС) серії ДСТУ ISO 9001:2001 та перспективного плану розвитку академії.

У липні 2006 р. УІПА отримала сертифікат на систему управління якістю, який засвідчує, що система управління якістю стосовно надання послуг у сфері вищої освіти, які надає УІПА згідно з чинними в Україні документами, відповідає вимогам МС ДСТУ ISO 9001:2001. Упродовж шести років кропіткою праці колективу академії із впровадження і удосконалення СУЯ, як підтвердження факту, що система ефективно

функціонує, 2 квітня 2012 р. академія успішно пройшла ресертифікацію, що підтверджено сертифікатом якості Національного органу України з сертифікації. Система ефективно функціонує і являє собою близько 100 нормативних положень, які охоплюють всі види діяльності, виховну, наукову, організаційну, методичну тощо. Але, як кожна відкрита система, потребує постійного удосконалення.

З огляду на окреслену проблематику, пропонуємо переглянути наявну систему менеджменту якості, адаптувати та удосконалити організаційну структуру управління, створивши окремий, об'єктивний орган управління системою якістю ВНЗ – відділ менеджменту якості. З метою посилення інформаційних зв'язків між структурними підрозділами академії та удосконалення внутрішнього та зовнішнього моніторингу якості.

На рисунку представлена авторська пропозиція удосконалення організаційно-управлінської структури ВНЗ з упровадженням відділу менеджменту якості.

Як видно на рисунку, відділ менеджменту якості, спільно з ректоратом та радою з якості регулюють діяльність усіх структурних підрозділів, керівників процесів, тим самим реалізуючи вимоги прийняття першою особою на себе відповідальності за розвиток системи менеджменту якості. Рада з якості вирішує питання з якості освіти, аналізує розвиток системи менеджменту якості в академії. Водночас є функціональні зв'язки між ректоратом академії і відділом менеджменту якості, який також контактує з представниками служби якості в радах вищого навчального закладу і з керівниками структурних підрозділів.

Місія відділу менеджменту якості у вищому навчальному закладі:

- постійно удосконалювати і підвищувати результативність системи менеджменту якості, впровадженій відповідно до стандарту ДСТУ ISO 9001;
- реалізовувати стратегічний план розвитку ВНЗ;
- побудувати ефективну конкурентоспроможну освітню систему;
- створити ефективну систему й інфраструктуру залучення абітурієнтів, роботодавців, замовників проектних, консалтингових та інших послуг;
- здійснювати управління ВНЗ як системою взаємопов'язаних процесів, орієнтованих на ефективне використання ресурсів, розвиток матеріально-технічної бази та інфраструктури ВНЗ;

- знизити витрати на обслуговування СМЯ;
- забезпечити стабільний розвиток якості освітніх послуг.

Мета створення відділу менеджменту якості:

- безперервне покращення виконання пунктів стандарту ДСТУ ISO 9001:2009;
- оперативно реагувати на зовнішні та внутрішні чинники впливу ВНЗ.

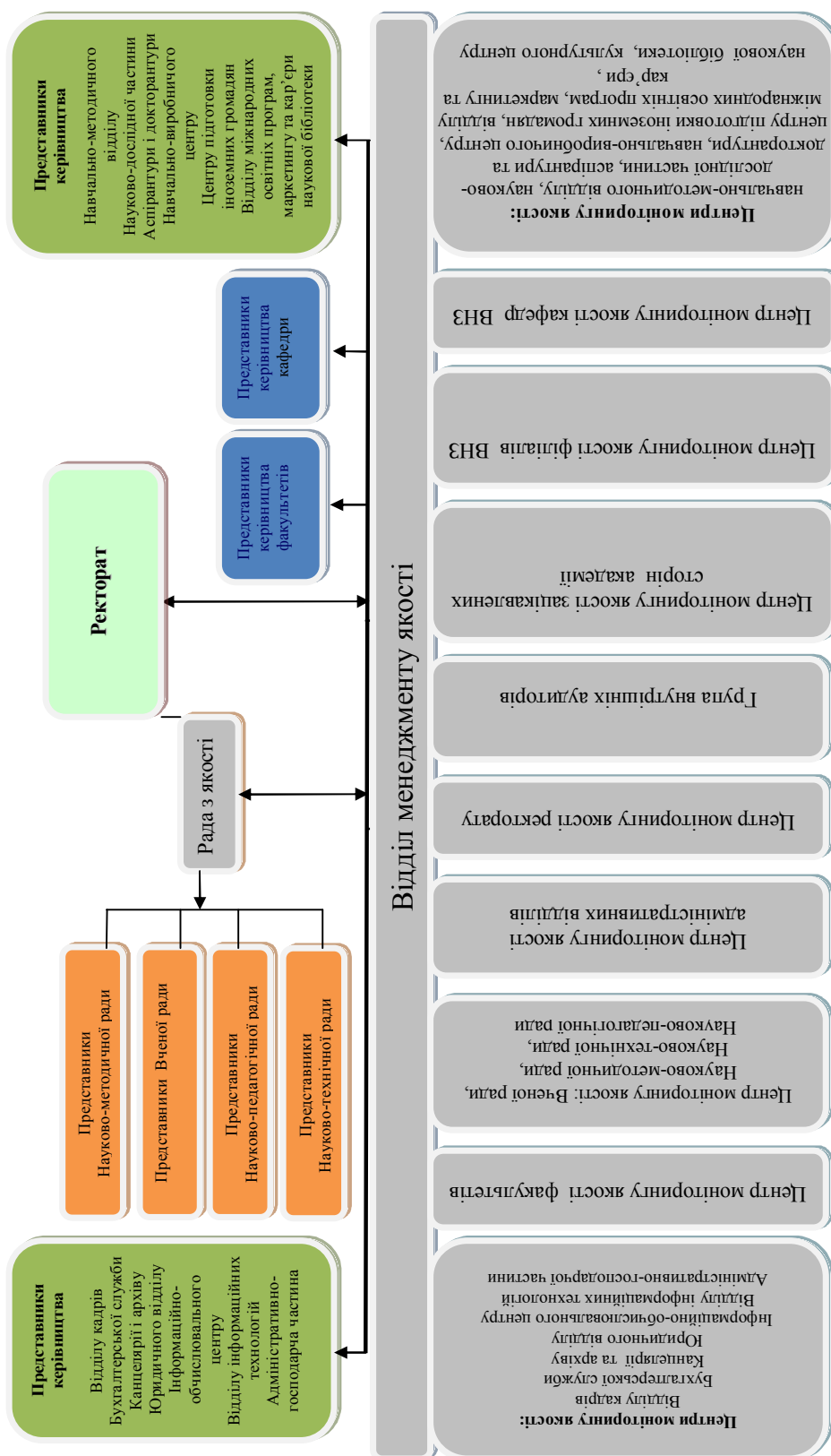
Основні завдання відділу менеджменту якості:

- розроблення та впровадження ефективних заходів з підтримання системи менеджменту якості на основі гармонізації вимог державних стандартів, акредитаційних показників і вимог стандарту ДСТУ ISO 9001:2009;
- розроблення, впровадження документації системи якості й аналіз її відповідності вимогам стандарту ДСТУ ISO 9001:2009;
- координація дій структурних підрозділів, спрямованих на забезпечення якості освіти;
- проведення моніторингу якості освіти та діяльності закладу;
- організація процедур ліцензування та акредитації, контроль виконання ліцензованих нормативів;
- взаємодія із зовнішніми органами якості освіти.

Функції відділу менеджменту якості:

- здійснювати планування і реалізацію заходів з розроблення і впровадження системи якості та її постійного удосконалення;
- розробляти та забезпечувати підрозділи закладу освіти методичною документацією та рекомендаціями з контролю та удосконалення системи якості;
- організовувати і проводити наради, семінари і конференції з питань якості освіти і всієї діяльності ВНЗ;
- розробляти плани-графіки проведення заходів щодо покращення якості й порядку контролю за їх виконанням;
- організовувати і супроводжувати заходи з оцінки і самооцінки якості діяльності підрозділів вищого навчального закладу;
- готувати звіти з якості діяльності ВНЗ;
- організовувати, супроводжувати і аналізувати результати рівня якості знань студентів та випускників ВНЗ.

Отже, створення у вищому навчальному закладі відділу менеджменту якості є ефективним інструментом у реформуванні організаційно-управлінської структури і механізмом безперервного покращення системи якості.



Організаційно-функціональна структура відділу менеджменту якості ВНЗ

Висновки. Отже, система менеджменту якості відповідно до стандарту ДСТУ ISO 9001:2009 у вищому навчальному закладі спрямована на упорядкування і систематизацію процесів, що динамічно перебігають, забезпечення оптимальної та результативної взаємодії між суб'єктами системи і їх взаємодії із об'єктами управління. Упорядкуванню процесів сприяє використання сучасних методів самоаналізу діяльності освітньої установи та її постійного удосконалення, реформування організаційно-управлінської структури і визначення взаємозв'язків між її елементами з урахуванням процесного підходу і орієнтації на результат. Отже, створення у вищому навчальному закладі відділу з менеджменту якості є ключовим механізмом в адаптації вищого навчального закладу в умовах впровадження системи менеджменту якості відповідно до стандарту ДСТУ ISO 9001.

1. Анодина О.Л. Документообіг в організації / О.Л. Анодина. – К.:Омега. – Л, 2006. – 172 с.
2. Асєєв Г.Г. Методологія підходів до автоматизації документообігу: системи / Г.Г. Асєєв // Вісник Книжкової палати. – 2004. – № 11. – С. 17–19.
3. Асєєв Г.Г. Методологія підходів до автоматизації документообігу: системи / Г.Г. Асєєв // Вісник Книжкової палати. – 2004. – № 6 – С. 26–29.
4. Асєєв Г.Г. Управління сучасним документообігом: теорія, структура, методи / Г.Г. Асєєв // Вісник Книжкової палати. – 2004. – № 4. – С.17–19.
5. Асєєв Г.Г. Електронний документообіг: підручник / Г.Г. Асєєв. – К.: Кондор, 2007. – 500 с.
6. Баласян В.Е. От традиционного

делопроизводства к электронному документообороту / В.Э. Баласян // Справочник секретаря и офис-менеджера. – 2003. – № 4. – С.14 – 18.
7. Березина Н.Н. Современное делопроизводство / Н.Н. Березина, Е. Воронцова, Л. Лысенко. – СПб.: Питер, 2004. – 256 с.
8. Беспяньска Г.В. Організація роботи з документами: навч. посіб. для дист. навчання / Г.В. Беспяньска; Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна». – К.: Ун-т «Україна», 2006 – С. 40 – 59.
9. Бобылева М.П. Эффективный документооборот: от традиционного к электронному / М.П. Бобылева. – М.: МЭИ, 2004. – 172 с.
10. Быкова Т.А. Основные правила организации документооборота предприятия / Т.А. Быкова // Делопроизводство и документооборот на предприятии. – 2003. – № 9. – С. 6 – 14.
11. Віткін Л.М. Місце України у світовій та європейській якості / Л.М. Віткін. // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2002. – № 3 (18). – С.43 – 49.
12. Гайдукова Л.М. Проблемы традиционных технологий документационного обеспечения / Л.М. Гайдукова // Секретарское дело. – 2006. – № 10. – С.17 – 22.
13. Гарр П. Что требует бизнес и что дает вуз / П. Гарр, З. Кеменейд // Стандарты и качество. – 2001. – № 10. – С. 74 – 77.
14. Комова М.В. Діловодство: навч. посіб. / М.В. Комова; Національний університет «Львівська політехніка». – Львів: Тріада плюс. – 2006. – 22 с.
15. Красавин А.С. Секретарь и документооборот / А.С. Красавин // Справочник секретаря и офис-менеджера. – 2003. – № 4. – С. 8–13.
16. Кузнецова Т.В. Секретарь и документооборот / Т.В. Кузнецова // Секретарское дело. – 2003. – № 1. – С. 15.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ!
Редколегія збірника наукових праць
«ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА МЕТРОЛОГІЯ»
 проводить набір статей на 2014 рік

Збірник формується за такими розділами:

1. ОПРАЦЮВАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ.
2. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА МАГНІТНИХ ВЕЛИЧИН.
3. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ ТЕПЛОВИХ ВЕЛИЧИН.
4. ВИМІРЮВАННЯ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН.
5. БІОМЕДИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ ТА ПРИЛАДИ.
6. ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ.
7. ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ
8. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.
9. МЕТРОЛОГІЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ.
10. ПРОБЛЕМИ ВИМІРЮВАНЬ В НАРОДНОМУ ГОСПОДАРСТВІ.

Повний текст статей для опублікування необхідно сформулювати в такій послідовності: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення цієї проблеми і на які спирається автор, виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, на розв'язання якої спрямована наукова праця; формулювання мети наукової праці (постановка задачі); виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

Текст статей (обсягом 4–8 с.) необхідно подавати на електронних носіях або надсилати електронною поштою за адресою E-mail: tempera@polynet.lviv.ua, сформованих у Microsoft Word 2003.

1. **Формат:** формат сторінки А4 (210×297 мм) з відступами: ліворуч – 20 мм, праворуч – 15 мм, зверху – 34 мм, знизу – 28 мм, текст набирати у редакторі Microsoft Word 2000 або 2003.

2. **Текст:** гарнітура Times, шрифт – кегль 10, інтервал – 1,2, абзац – 0,8 см.

3. **Рубрикація.** У першому рядку праворуч вказати УДК (напівжирним (п/ж), вирівнювання праворуч); у кожному наступному рядку: назва статті – Times 12, великими літерами – п/ж, вирівнювання по центру; знак "©", прізвище та ініціали автора і співавторів (курсив, вирівнювання праворуч); назва організації та підрозділу, в яких працює автор (вирівнювання по центру); анотації українською, російською та англійською мовами (не більше ніж 60 слів кожна) (п/ж курсив, вирівнювання по центру); підзаголовки у статтях – Times 10, малими літерами, п/ж, впідбір.

4. **Рисунки та графіки** вставляти в одному із растрових форматів (bmp, jpg, tif) з роздільною здатністю не менше ніж 300 dpi. Рисунки підписувати і нумерувати шрифтом кегля 10, курсивом, вирівнювання по центру. Електронні варіанти усіх рисунків продублювати окремими файлами.

5. **Таблиці** подавати як окремі об'єкти у форматі Excel for Windows або у MS Word з розмірами, які приведені до сторінки. Основний кегль таблиці – 9, заголовки – 10. Заголовки таблиць формувати (п/ж, вирівнювання по центру), а нумерація (якщо їх більше ніж одна) виконується форматом (курсив, вирівнювання праворуч).

6. **Формули** подавати у форматі Equation 3 (вирівнювання по центру) і нумерувати у круглих дужках з правого краю.

Шрифт: звичайний – 10 пт, великий індекс – 8 пт, маленький індекс – 6 пт, великий символ – 16 пт, маленький символ – 10 пт.

Позначення математичних, фізичних та інших величин у тексті та у формулах записувати *курсивом*.

Прямий текст для позначень sin, cos, tg, ctg, rot, div, grad, const тощо, а також для позначень цифрами та літерами грецького алфавіту.

Індекси у величинах записувати **прямими** літерами українського і грецького алфавітів та цифрами, а літери латинського алфавіту – *курсивом*.

Додаткова інформація

У редколегію збірника необхідно подати: 1) сформований файл статті; 2) окремо файл з “шапкою” статті англійською мовою; 3) роздрукований текст статті (2 екз.); 4) експертні висновки (2 екз.); 5) витяг з рішення організації про рекомендацію до друку; 6) дві рецензії від осіб з науковим ступенем з рекомендацією до друку (зокрема одну зовнішню рецензію); 7) відомості про автора

Матеріали, подані до публікації в неповному обсязі або у вигляді, відмінному від визначеного цими вимогами, не розглядатимуться!

Усі документи необхідно подавати на адресу:
 Національний університет “Львівська політехніка”
 кафедра інформаційно-вимірювальних технологій
 вул. С.Бандери 12, 79013, м. Львів–13
 тел. (0322) 258-26-19

ЗМІСТ

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ І МАГНІТНИХ ВЕЛИЧИН

<i>Роман Пеленський. Плівкові структури в наноманітометрії.....</i>	3
---	---

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ ТЕПЛОВИХ ВЕЛИЧИН

<i>Наталія Заміщак, Ярослав Луцик. Аналіз основних способів обліку використання тепла індивідуальними споживачами.....</i>	7
<i>Ростислав Волицький. Метод побудови ядерно-квадрупольного резонансного термометра на основі цифрових синтезаторів.....</i>	12
<i>Василь Фединець. Дослідження коефіцієнта відновлення термоперетворювачів для вимірювання температури газових потоків</i>	16
<i>Ростислав Самченко, Богдан Стадник. Забезпечення рівномірності нагріву та точного вимірювання температури наночастинок магнітних матеріалів при проектуванні установи для їх дослідження.....</i>	19
<i>Тарас Олесків, Василь Яцук. Метрологічне забезпечення вимірювачів різниці температур на основі платинових термоперетворювачів з дводровою лінією зв'язку</i>	25
<i>Орест Кочан. Оцінка максимальної потужності нагрівачів термоелектричних перетворювачів з керованим профілем температурного поля.....</i>	29
<i>Олег Сегеда, Юрій Кривенчук. Дослідження впливу неідеальності геометричної форми зразка на результат вимірювання температури методом комбінаційного розсіювання світла</i>	33
<i>Сергій Прохоренко, Ірина Данкевич, Тарас Шналь, Катерина Кашир. Комплексна методика оцінки термічних параметрів дії вогневого навантаження на огорожувальні конструктивні елементи житлових приміщень.....</i>	37
<i>Петро Коваль, Сергій Солодкий, Сергій Прохоренко, Ярослав Ковальчик. Випробування бетонних кубів та призм з тепловізійним спостереженням зразків та реєстрацією сигналів акустичної емісії при руйнуванні.....</i>	40

ВИМІРЮВАННЯ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН

<i>Марина Міхалева, Володимир Юзва. Спосіб ідентифікації медичного спирту за електричними параметрами.....</i>	45
<i>Леонід Лесовой, Володимир Кузик. Вибір верхньої границі перепаду тиску дифманометра під задані параметри діафрагми та трубопроводу.....</i>	48
<i>Кім Богдан, Микола Слажнєв. Дослідження пружно-тензометричних вагових пристроїв з магнітним вузлом силовведення</i>	54
<i>Віталій Роман, Федір Матіко. Дослідження похибки вимірювання швидкості потоку за допомогою ультразвукового перетворювача із діаметральним акустичним каналом.....</i>	58

ВИМІРЮВАЛЬНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ

<i>Володимир Рак. Оцінка метрологічних характеристик волоконно-оптичного лазерного термоперетворювача</i>	65
<i>Володимир Крайовський, Володимир Ромака. Дослідження термометричного матеріалу $\text{HfNi}_{1-x}\text{Rh}_x\text{Sn}$</i>	71

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

<i>Іван Питель, Ігор Микитин, Роман Івах. Автоматична система підбору пар термоперетворювачів опору для тепловісильників</i>	77
--	----

МЕТРОЛОГІЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ

<i>Олеся Чабан, Лариса Юзевич.</i> Нормативні вимоги щодо контролю параметрів корозійного стану підземних трубопроводів.....	81
<i>Юлія Плахтій, Роман Байцар.</i> Нормативно-правове забезпечення у сфері захисту прав споживачів	88
<i>Микола Микийчук, Петро Столярчук, Тетяна Бубела.</i> Основні завдання та ознаки метрологічного забезпечення якості продукції.....	92
<i>Микола Микийчук.</i> Алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки	98
<i>Володимир Ванько, Наталія Феишук.</i> Нові нормативні вимоги стосовно якості електроенергії для живлення електронного та електротехнічного устаткування.....	103
<i>Тарас Бойко, Володимир Мельник.</i> Інтегроване формування показників властивостей для кваліметричного оцінювання продукції	107
<i>Тарас Бойко, Віктор Куць.</i> Адаптивність чинної нормативної бази України для завдань оцінювання відповідності згідно з міжнародними вимогами.....	114
<i>Василь Яцук, Роман Янович, Володимир Здеб.</i> Можливості оперативного калібрування промислових вимірювачів напруги	121
<i>Анатолій Леновенко, Богдан Стадник, Петро Столярчук, Василь Паракуда, Надія Ковальчук.</i> Вимірювальний комплекс для калібрування, перевірки і атестації засобів вимірювання температури на базі еталонного ядерно-квадрупольного термометра першого розряду ЯКРТ-5М.....	127

ПРОБЛЕМИ ВИМІРЮВАНЬ В НАРОДНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

<i>Олена Петренко.</i> Результати дослідження швидкості реакції водія як елемента уникнення аварій на дорогах	132
<i>Любомир Сопільник.</i> Людина в енергетичному полі Всесвіту	135

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

<i>Світлана Капран.</i> Самоосвітня діяльність – ефективний чинник професійної підготовки майбутніх організаторів діловодства у ВНЗ I–II рівнів акредитації	140
<i>С. Борук, Н. Трояновська.</i> Підвищення рівня техногенної безпеки процесів спалювання некондиційного палива.....	145
<i>Анатолій Семенов, Наталія Семенова.</i> Бактерицидне знезараження сипких харчових продуктів	150
<i>Галина Гуменюк, Наталія Сілонова, Інна Тавлуй.</i> Характеристика складових концепції підготовки магістрів за спеціальністю «Якість, стандартизація та сертифікація» у НУБІП України	154
<i>Віталій Малісевич, Орест Середюк.</i> Дослідження впливу якісних параметрів природного газу на функціонування парціального витратоміра.....	158
<i>Вікторія Бруєва.</i> Адаптація вищого навчального закладу в умовах впровадження системи управління якістю відповідно до стандарту ДСТУ ISO серії 9001:2009 (на прикладі Української інженерно-педагогічної академії).....	163

Збірник наукових праць

ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА МЕТРОЛОГІЯ

МІЖВІДОМЧИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Видається з 1965 року

Випуск 74

Редактор *Оксана Чернигевич*
Комп'ютерне верстання *Наталії Максимюк*
Художник-дизайнер *Уляна Келеман*

Здано у видавництво 25.06.2013. Підписано до друку 18.09.2013.

Формат 60×84¹/₈. Папір офсетний. Друк на різнографі.

Умовн. друк. арк. 20,0. Обл.-вид. арк. 17,5.

Наклад 100 прим. Зам. 130710.

Видавець і виготівник Видавництво Львівської політехніки
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4459 від 27.12.2012 р.

вул. Ф. Колесси, 2, Львів, 79000

тел. +380 32 2582146, факс +380 32 2582136

vlp.com.ua, ел. пошта: vmr@vlp.com.ua