

УДК 681.518

Г.І. Клим

Національний університет «Львівська політехніка»

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛІВКОВИХ СЕНСОРІВ

Спроектовано інтелектуальну мікропроцесорну систему для моніторингу таких параметрів довкілля як температура та вологість з використанням розроблених наноструктурованих мультирівневих плівкових сенсорів. Представлено технологічні особливості одержання наноструктурованих сенсорів. Запропоновано функціональну та принципову схеми спроектованої системи.

Ключові слова : *наноструктуровані сенсори, інтелектуальна система, моніторинг довкілля.*

Вступ. Інтелектуальні сенсорні системи як складова інформаційно-комунікаційних технологій є невід'ємним атрибутом розвитку людського суспільства на сучасному етапі [1]. Сфера застосування сенсорних систем постійно розширюється і там, де вчора суспільство ще обходилося природним сприйняттям зовнішніх впливів, сьогодні вже неможливо уявити собі його функціонування без сенсорів. Сенсори температури, тиску, вологості, іонізуючої радіації, газових забруднень атмосфери – ось далеко неповний перелік сенсорів за їх основним функціональним призначенням.

Особливе місце в цьому переліку належить сенсорам температури та вологості (електронним пристроям для кількісного визначення температури та абсолютної/відносної вологості), оскільки моніторинг і контроль цих параметрів стану навколишнього середовища на сьогоднішній день є важливим економічним завданням, актуальність успішного розв'язання якого важко переоцінити [2]. Ці сенсори широко використовуються в автоматизованих системах контролю та регулювання вологості та температури на підприємствах харчової і легкої промисловості, сільського господарства, в нафто- та газопроводах. Вони є практично незамінними в медицині, системах забезпечення життєдіяльності на об'єктах гірничодобувної промисловості, метеорології, автомобільній промисловості та ін. Вони досить поширені і в різноманітних засобах побутової техніки, де сфера їх застосування неухильно зростає з року в рік.

Не дивно, що проблемі моніторингу параметрів навколишнього середовища присвячено цілий ряд оглядів, опублікованих спеціалістами найвідоміших світових електронних компаній, зокрема таких як MATSUSHITA ELECTRONIC INDUSTRIAL Co., Ltd., TEXAS INSTRUMENTS, Inc. та ін. Ця проблема набрала надзвичайної ваги в Японії та США [3], країнах, де коливання температури та вологості в умовах тропічного та субтропічного кліматів досягають інколи катастрофічних масштабів, а в світлі останніх років ця проблема є актуальною і для Європи.

Все це наштовхує на ідею створення високонадійної інтелектуальної системи моніторингу параметрів довкілля. Однак ефективна робота інтелектуальних систем можлива лише за умови забезпечення їх високоякісною первинною інформацією. Це вимагає створення принципово нових мікроелектронних сенсорів на основі сучасних функціональних наноматеріалів з використанням нових фізичних ефектів, застосування сенсорних масивів та високочутливих, точних та стабільних вимірювальних каналів.

Значні роботи в напрямку створення сенсорних систем для контролю температури, вологості, рівня шкідливих газів, тиску, освітлення, були проведені відомими світовими виробниками, зокрема E+E Electronic, Honeywell, Sensorsoft [4], тощо. Основним недоліком таких систем є їх дороговизна. В даній роботі пропонується розроблення інтелектуальної мікропроцесорної системи моніторингу параметрів довкілля з використанням одержаних високостабільних наноструктурованих сенсорних структур.

Одержання наноструктурованих сенсорних структур. Технологія виготовлення товстоплівкоплівкових багатошарових структур передбачає в якості базових компонент використання керамічного матеріалу, який володіє необхідними напівпровідниковими/діелектричними властивостями. Зразки одержували традиційним методом

сіткографії з використанням керамічного порошку відповідних складів ($\text{Cu}_{0,1}\text{Ni}_{0,1}\text{Co}_{1,6}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_4$, $\text{Cu}_{0,1}\text{Ni}_{0,8}\text{Co}_{0,2}\text{Mn}_{1,9}\text{O}_4$, MgAl_2O_4), органічного розчинника, органічної зв'язки СМ-2, екологічного скла без вмісту свинцю та оксиду вісмуту Bi_2O_3 . Одержані багатопшарові температурно- та вологочутливі товстоплівкові структури на основі шпінельної кераміки системи NiMn_2O_4 - CuMn_2O_4 - MnCo_2O_4 з р- ($\text{Cu}_{0,1}\text{Ni}_{0,8}\text{Co}_{0,2}\text{Mn}_{1,9}\text{O}_4$) та р⁺- ($\text{Cu}_{0,1}\text{Ni}_{0,1}\text{Co}_{1,6}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_4$) типами електричної провідності та діелектричної кераміки MgAl_2O_4 (і-тип) будуть використовуватися для контролю температури та вологості [5,6]. Одержані пасти наносили на очищені підкладки типу Rubalit 708 S із контактними доріжками з провідникової пасти Ag-Pt. Топологічна схема багаторівневої сенсорної структури зображено на рис. 1.

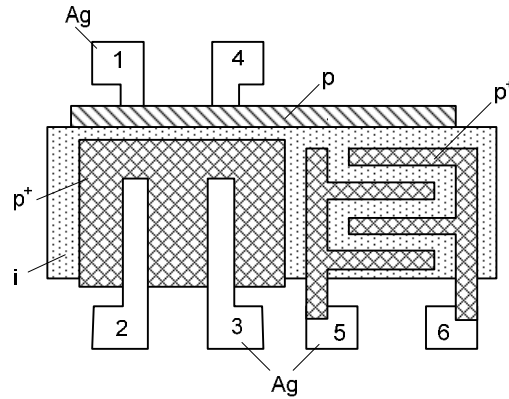


Рис.1. Топологічна схема багаторівневої наноструктурованої сенсорної структури

Слід зазначити, що формування товстоплівкових р-р⁺ та р-р⁺-р структур та інтегрованих р-і-р⁺ структур проводилося в рамках єдиного технологічного процесу. На рис. 1. зображено дві сенсорні структури, одна з яких забезпечує вимірювання температури і інша – інтегроване вимірювання температури та вологості.

На рис. 2 та рис. 3. зображені робочі характеристики одержаних температурно- та вологочутливих сенсорних структур.

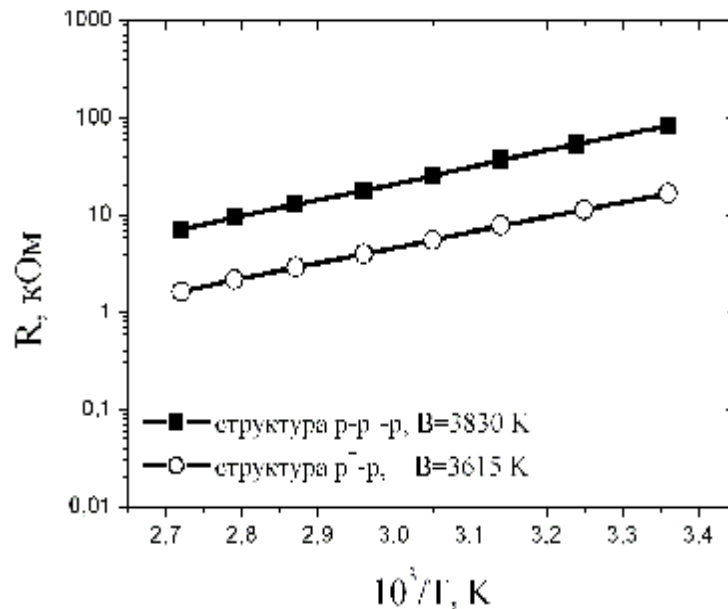


Рис. 2. Типові електрофізичні характеристики багатопшарових температурночутливих товстоплівкових сенсорних структур

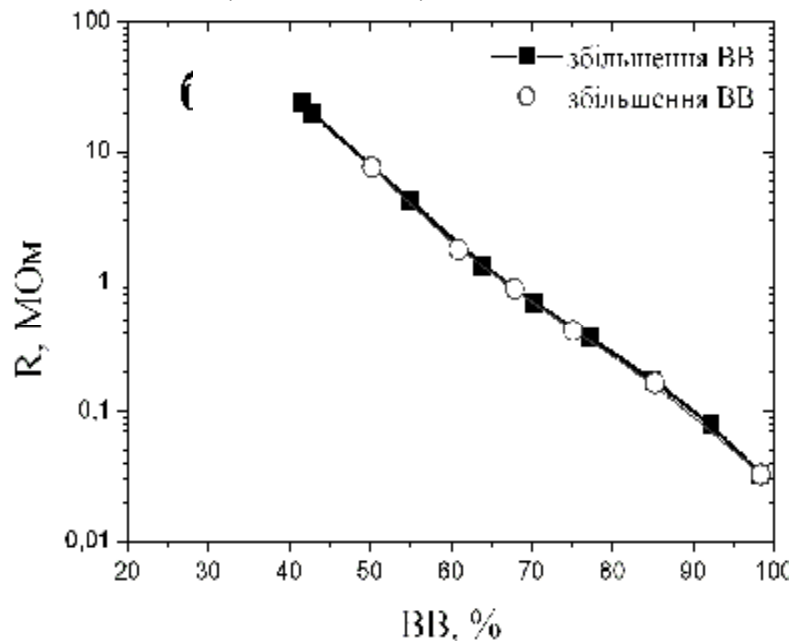


Рис. 3. Робочі характеристики вологочувливих товстоплівкових сенсорних структур

Як видно з рис. 2, температурночутливі структури на основі структур $p-p^+$ та $p-p^+-p$ володіють лінійною залежністю електричного опору на ділянці температур від 298 К до 368 К в напівлогарифмічному масштабі. Вологочувливі структури з на основі кераміки $MgAl_2O_4$ характеризуються високою чутливістю на ділянці відносних вологостей (ВВ) від 40 % до 98 % та відновлюваністю характеристик в циклах (див. рис. 3). Зважаючи на одержані результати, дані наноструктуровані сенсорні структури можна успішно використовувати при проектуванні та створенні вимірювальних систем.

Схема моніторингу довкілля. Нижче описано апаратне забезпечення спеціалізованого комплексу контролю температури та вологості, реалізованого на сучасній елементній базі з модульною організацією, яке працюватиме в реальному режимі часу і дасть змогу поповнювати базу даних по стан довкілля. Керування роботою всіх його вузлів виконує мікроконтролер CУ8С29466-24РVХІ фірми Cypress Semiconductor, який містить всі необхідні модулі та є перепрограмованою системою на кристалі [7].

Спеціалізовану систему можна встановлювати як в приміщенні, так і на відкритому повітрі, вона забезпечує вимірювання, опрацювання та передавання даних відносної вологості та температури повітря [8]. Основні вимоги, які ставляться до цієї системи на етапі розробки: модульність структури, що дасть змогу на перспективу підключати нові здавачі; функціонування в повністю автоматичному режимі; одержання і первинне опрацювання вимірювальної інформації; передавати вимірювальні дані на персональний комп'ютер (ПК) на його запит в автоматичному режимі; приймання та виконання команд, які надходять з ПК (задання режимів вимірювання, синхронізації часу, вмикання/вимикання системи, калібрування здавачів); створення і підтримка локальної бази даних зі значеннями параметрів за тривалий час з автоматичним накопиченням нових даних; відкритість архітектури апаратного та програмного забезпечення для нарощування складу вимірювальної апаратури і введення нових алгоритмів контролю за станом середовища.

Функціональна схема програмно-апаратного комплексу для контролю мікрокліматичних параметрів складається з аналогової та цифрової частин (рис. 4.). Аналогова частина містить одержані нами наноструктуровані товстоплівкові багаторівневі сенсорні, які вимірюють температуру та відносну вологість, а також модулі узгодження рівнів їхніх сигналів.

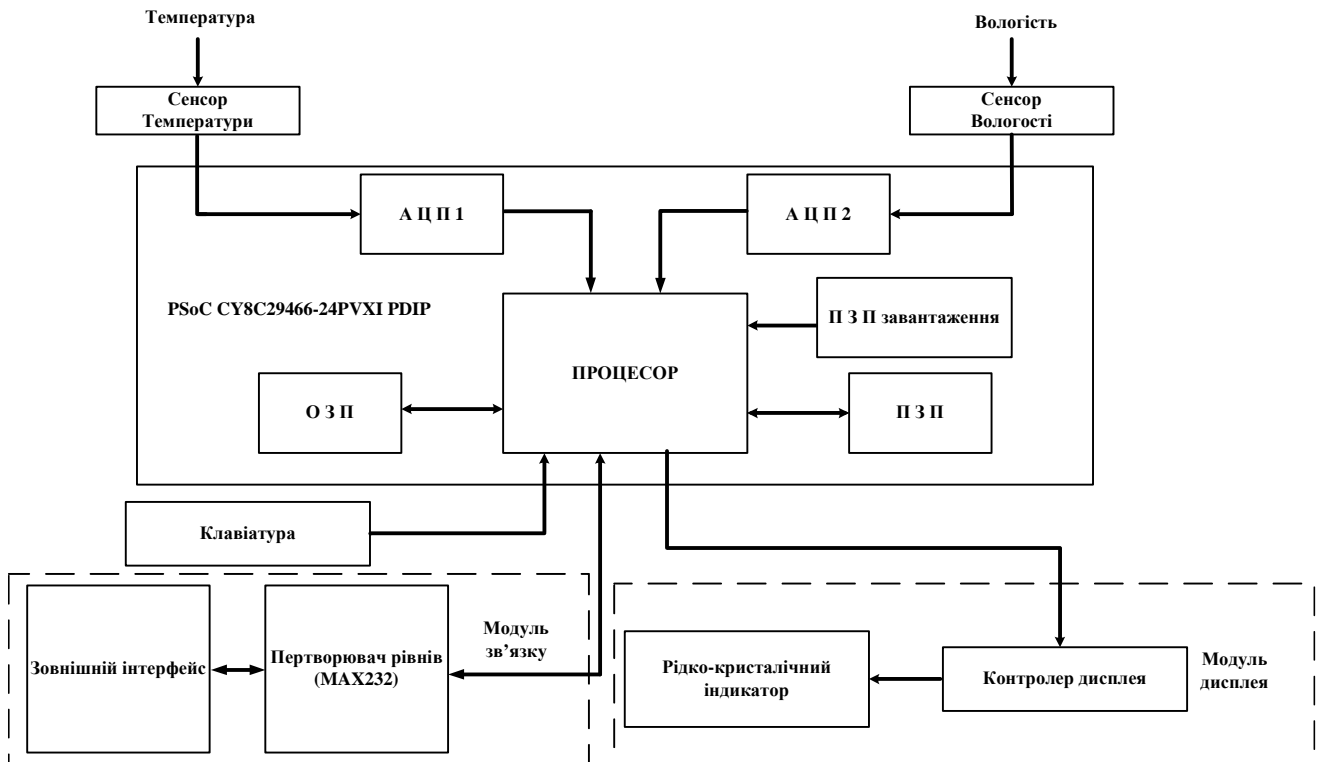


Рис. 4. Функціональна схема спеціалізованої системи для контролю мікрокліматичних параметрів

Спроектована мікропроцесорна система моніторингу за її функціональним призначенням являє собою тривірневу структуру побудови. На першому рівні розміщені сенсори температури та вологості (при необхідності можливе використання ряду сенсорів інших параметрів довкілля), реакція яких на визначені параметри перетворюється в електричний сигнал, який після перетворення схемою включення подається на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Схема включення забезпечує узгодження рівня вихідних сигналів сенсорів з діапазоном перетворення аналого-цифрового перетворювача. Сам аналого-цифровий перетворювач забезпечує дискретизацію вхідних сигналів та подачу його по запиті процесора на системну шину. Крім АЦП до системної шини підключено постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП), оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП), процесор, індикатор (для випадку використання в побутових цілях). Ці пристрої являють собою типову мікропроцесорну систему, в якій програма роботи зберігається в ПЗП, її виконання здійснюється в процесорі, дані зберігаються в ОЗП.

Для забезпечення більш точної і лінійної відповідності показів, а також забезпечення номінальних параметрів (напруга/струм) до сенсорів відносної вологості та температури введено додаткові коректуючі схеми включення активних елементів (подільники напруг), які зображені на рис. 5). Як коректуючі опори в схемах А і В використано опори номіналом $R1=220\text{кОм}$, $R2=220\text{кОм}$, $R3=680\text{кОм}$. Результуючий опір включеного сенсора температури за схемою А:

$$R_{\text{заг}} = R1 + Rt, \quad (1)$$

де Rt – опір сенсора температури при даній температурі повітря. Результуючий опір включеного сенсора вологості за схемою В:

$$R_{\text{заг}} = R2 + \frac{R3 \cdot Rp}{R3 + Rp}, \quad (2)$$

де Rp – опір сенсора вологості повітря.

Живлення системи забезпечується джерелом напруги від 8 до 24 вольт, та струмом навантаження більше 100 міліампер. Сприйняття даних із сенсорів проводиться через вбудовані АЦП оцифровуються.

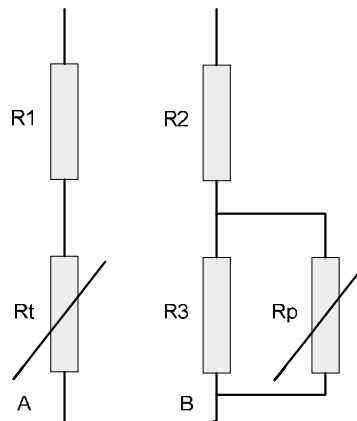


Рис. 5. Схеми включення активних елементів.

Схема електрична принципова системи контролю параметрів зовнішнього середовища показана на рис.6. Мікроконтролер CY8C29466-24PVXI виконує вимірювання, обчислення, опрацювання і передавання інформації через COM-порт з допомогою перетворювача рівнів MAX232. Також для забезпечення виведення вимірних величин може використовуватися LCD дисплей 2x16. Живлення системи забезпечується джерелом напруги від 8 до 24 вольт, та струмом навантаження більше 100 міліампер. Сприйняття даних із сенсорів проводиться з порту P0[3] та P0[5] та через вбудовані АЦП оцифровуються. Передбачено мікрокнопки для зміни параметрів роботи та виводу інформації на дисплей.

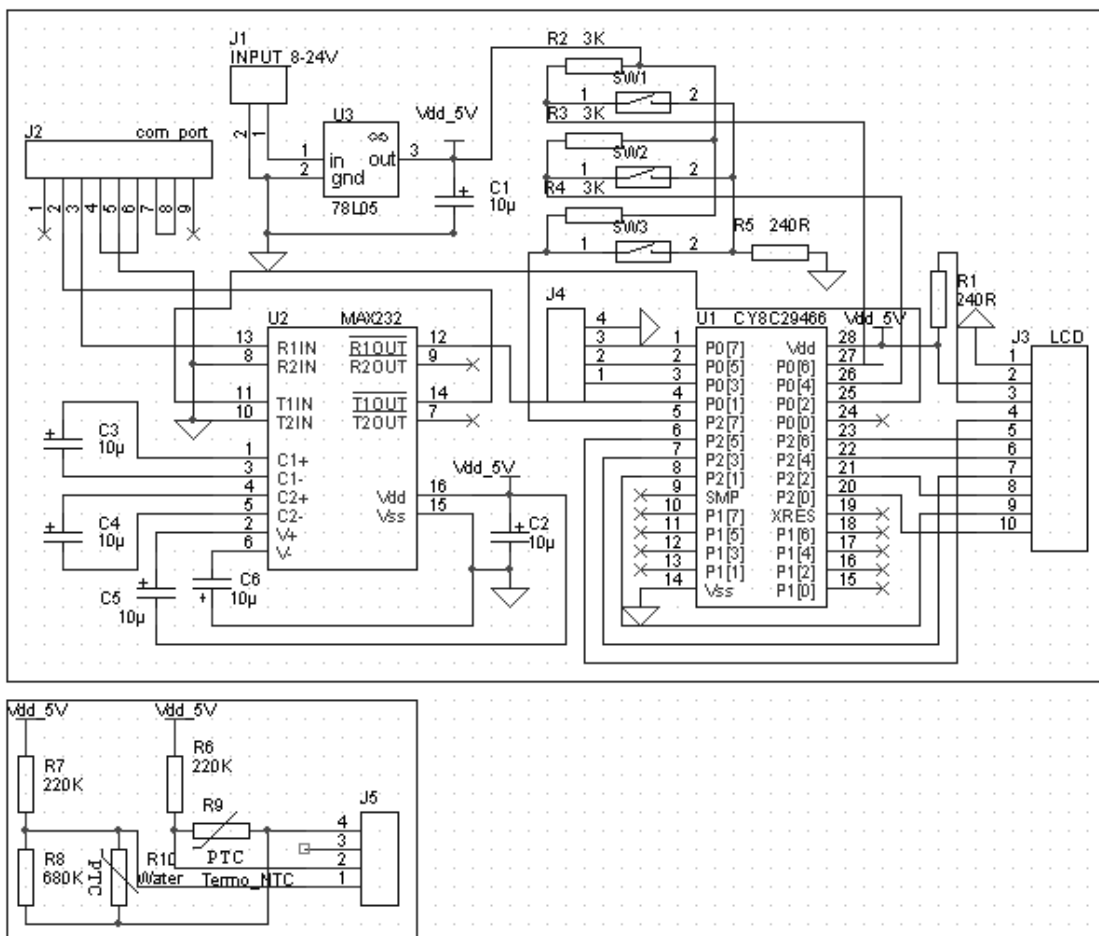


Рис.6. Схема електрична принципова системи контролю мікрокліматичних параметрів

Для керування роботою системи контролю мікрокліматичних параметрів реалізовано програмне забезпечення для мікроконтролера CY8C29466-24PVXI. Його розробка виконана в середовищі PSoC Designer 5.0 за допомогою мови програмування Сі.

У випадку використання автоматизованої системи з сенсорами, розташованими в різних місцях (комплексний моніторинг), вимірювальні модулі будуть здатні самостійно автоматично накопичувати, частково опрацьовувати та запам'ятовувати попередню інформацію, отриману з сенсорів, а також підтримувати обмін даних з центральним терміналом, призначеним для централізованого опрацювання та накопичення інформації з усіх комплексів. Центральний термінал, а також вся система моніторингу може обслуговуватися одним оператором.

Програмне забезпечення системи пропонує інтерактивний режим роботи з оператором, що дозволить дистанційно встановлювати всі параметри вимірювань, змінювати інтервали між вимірюваннями, а також одержувати інформацію про роботу кожного з сенсорів конкретного комплексу у зручній для користувача формі.

В звичайному режимі кожен з комплексів зможе декілька разів на добу давати запит, а одержана інформація буде надходити на центральний термінал без участі оператора. В цьому випадку сам комплекс повинен порівнювати інформацію з кожного сенсора з наперед заданими порогоми та видавати повідомлення на центральний термінал.

Багатофункціональність запропонованої автоматизованої системи моніторингу навколишнього середовища визначається можливістю збільшення або зменшення кількості сенсорів, варіабельністю кількості модулів.

Висновки. Запропонована автоматизована система моніторингу довкілля з використанням двох окремих наноструктурованих сенсорів температури та відносної вологості. В подальшому буде відпрацьовано можливості системи при використанні інтегрованого р-і-р⁺ сенсора. Запропонована система моніторингу навколишнього середовища дасть змогу контролювати визначені параметри мікрокліматичних умов (температури, вологості, тощо) як в побутових приміщеннях, так і на території великих промислових підприємств.

Автор вдячна Національному університету «Львівська політехніка» за фінансову підтримку (Грант молодих вчених на проведення досліджень № 3/ГПП-2011).

1. Лепіх Я.І., Гордієнко Ю.О., Дзядевичка С.В., Дружинін А.О., Євнух А.А., Лесков С.В., Мельник В.Г., Романов В.О. Створення мікроелектронних датчиків нового покоління для інтелектуальних систем, Одеса "Астропринт" (2010), с.289.
2. Energy and Environment, The Intimate Link, a position paper of the EPS Envir. Physics Division, EPS, www.eps.org/about-us/position-papers/eps_energy_environment_pp.pdf
3. Seijama T., Yamazoe N., Arai H. Ceramic humidity sensors, Sensors and Actuators, 1983, v. 4, pp.85-96.
4. www.epluse.com; www.honeywell.com; www.sensorsoft.com
5. Klym H., Hadzaman I., Shpotyuk O., Brunner M. Temperature and humidity sensitive ceramic materials in thick-film performance for multifunctional sensor application, Proc. Sensor 2009, vol. II – 14th International Conference on Sensors, Technologies, Electronic and Applications, Nurnberg, Germany, 26-28 May 2009, pp. 307-310.
6. Hadzaman I., Klym H., Shpotyuk O., Brunner M. Temperature sensitive spinel-type ceramics in thick-film multilayer performance for environment sensors // Acta Physica Polonica A, 2010, v. 117, No 1, pp. 233-236.
7. www.cypress.com
8. Дзендзелюк О., Мусійчук І., Рабик В. Автоматизована система моніторингу параметрів довкілля, Теоретична електротехніка, 2010, вип. 61, сс. 90-98.