

*Запропоновано підхід та технологію синтезу універсальних технічних засобів для моніторингу екологічних параметрів довкілля широкого спектру – кліматичних, радіаційних, концентрації забруднюючих речовин та інших. Використана методика розділення функцій первинної реєстрації інформаційних сигналів та подальшої їх цифрової обробки дозволила уніфікувати вимоги до використання у системі вимірювальних перетворювачів та обчислювальних засобів*

*Ключові слова: екологічний моніторинг довкілля, інформаційно-вимірювальна система, інтелектуальний вимірювальний перетворювач, паралельна обробка коду*

*Предложен подход и технология синтеза универсальных технических средств для мониторинга экологических параметров окружающей среды широкого спектра – климатических, радиационных, концентрации загрязняющих веществ и др. Используемая методика разделения функций первичной регистрации информационных сигналов и последующей их цифровой обработки позволила унифицировать требования к используемым в системе измерительным преобразователям и вычислительным средствам*

*Ключевые слова: экологический мониторинг окружающей среды, информационно-измерительная система, интеллектуальный измерительный преобразователь, параллельная обработка кода*

# КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА З РЕКОНФІГУРОВАНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ДОВКІЛЛЯ

**Г. І. Воробець**

Кандидат фізико-математичних наук, доцент\*

E-mail: g.vorobets@chnu.edu.ua

**Р. Д. Гуржуй**

Асистент\*

E-mail: ruslan\_gurjui@ukr.net

**М. А. Кузь**

Завідувач лабораторією\*

\*Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Чернівецький національний університет

ім. Юрія Федьковича

вул. Університетська, 28,

м. Чернівці, Україна, 58000

## 1. Вступ

Недоліком сучасних електронних систем моніторингу екологічних параметрів довкілля є вузька спеціалізація вимірювального обладнання [1, 2]. В першу чергу це зумовлено специфікою і широким спектром контрольованих параметрів, і, відповідно, особливостями функціонування та технічних характеристик використовуваних в обладнанні сенсорів і вимірювальних перетворювачів фізичних величин [3, 4]. Різноманіття використовуваних сенсорів і широка номенклатура приладів утруднює як первинну обробку даних, так і їх систематизацію. Розробка аналітичних звітів і прогнозів є складною і трудомісткою задачею. Особливо це стосується регіональних (РСМД) і державної в Україні систем моніторингу (ДСМД) довкілля, де обсяг накопичуваної інформації та звітів наразі зростає в геометричній пропорції [5]. Розроблені наразі і використовувані в РСМД і ДСМД системи автоматизованого збору і обробки даних тільки частково вирішують вказані проблеми, оскільки значна частина операцій при передачі даних від одного типу технічних засобів (ТЗ) до інших, від одних установ та міністерств до інших і т.п., передбачає використання проміжних носіїв, а за параметрами та формою подання даних такі ТЗ погано узгоджені. Тому актуальним є завдання створення комп'ютерних і технічних засобів для

підвищення рівня автоматизації збору і обробки екологічних даних.

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Варто відмітити, що питанням екологічного моніторингу довкілля останнім часом приділяється значна увага, про що свідчить значна кількість наукових публікацій [6–9], навчальних програм [10, 11], та рішення, які приймаються на державному рівні [5]. Однак, загальним їх недоліком, є відсутність належного вирішення проблеми комплексного підходу до технічного забезпечення екологічного моніторингу. Як правило, технічні питання вирішуються для локальних завдань, наприклад вимірювання рівня ультрафіолетового випромінювання [7–9], дослідження шкідливих викидів в атмосферу та інші. Тому створення узагальнених баз даних, які об'єднують різні фактори впливу на середовище і часто пов'язані між собою та потребують комплексного аналізу, є дуже трудомісткою задачею. Технічним вирішенням даної проблеми може бути створення уніфікованих комп'ютерних пристроїв і систем (КПС), які мають функціонувати на основі типових стандартизованих протоколів і забезпечувати взаємодію базових структур КПС із різноманітними наборами вимірювальних перетворювачів і сенсорів, і в автономному режимі забезпечувати

збирання інформації, створення баз даних і знань на основі експертних даних та проведення моделювання й аналізу за різними типами запитів і зрізів баз даних [13–15]. Підхід до побудови прототипу такої технічної системи з багаторівневою ієрархічною реалізацією взаємозв'язків між компонентами запропоновано в [2, 12]. Недоліком технічних рішень описаних в [5, 12] є орієнтація системи на дискретні різномісні ТЗ для різних типів екологічних параметрів і даних.

---

### 3. Ціль та задачі дослідження

---

Метою даної роботи є розробка загальних засад і технічних рішень для створення уніфікованого підходу і відповідних технічних засобів для цифрової обробки інформації з різномісних сенсорів і вимірювальних перетворювачів.

Для досягнення мети необхідно було вирішити наступні завдання: на основі систематизації даних щодо особливостей вимірів широкого спектру екологічних параметрів довкілля запропонувати методику уніфікованого підходу до їх реєстрації; розробити структурно-алгоритмічні рішення, які б дозволили спростити технічну реалізацію комп'ютеризованої системи обробки даних параметрів довкілля та розширити її функціональні можливості; дослідити можливості оптимізації запропонованих технічних рішень для підвищення швидкості обробки інформації і застосування їх в умовах виробництва.

---

### 4. Методика уніфікованої цифрової обробки даних

---

Завдання уніфікації цифрової обробки інформації (ЦОІ) потребує вирішення двох основних категорій питань.

По перше, це технічні питання, спрямовані на створення базових апаратно-програмних засобів регіонального рівня для автоматизованої системи комплексного багатопараметричного екологічного моніторингу забруднення атмосфери шкідливими викидами ( $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , пилу та іншими речовинами), рівня ультрафіолетового та радіаційного  $\gamma$ -випромінювання навколишнього середовища, сейсмічної активності земної кори і, зрозуміло, також кліматичних параметрів – температурних спостережень, атмосферного тиску, вологості, перерозподілу повітряних мас та інше. Таке коло завдань можна окреслити терміном первинної обробки і накопичення інформації.

По друге, це задачі вторинної обробки даних і телекомунікації. Вони передбачають розробку програмних і технічних рішень місцевого і регіонального рівня зі створення чи адаптації телекомунікаційної мережі для передачі інформації від локальних станцій до центрального сервера, створення алгоритмічно-програмного забезпечення для формування баз даних (фізичного накопичення, математичного моделювання і статистичної обробки та аналізу результатів експериментальних досліджень) і підтримки прийняття рішень щодо запобігання чи зменшення впливу несприятливих умов і надзвичайних ситуацій на здоров'я і господарську діяльність населення.

З іншого боку, питання моніторингу вказаних параметрів досить часто доводиться вирішувати в локальних масштабах, зокрема, наприклад, при забезпеченні санітарно-гігієнічних умов на виробництві, де застосовуються шкідливі для людини види випромінювання, чи можливі більші за гранично-допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин. У цьому випадку доцільними для уніфікованої обробки, окрім контролю і тривалого моніторингу локальних параметрів обмеженої в просторі екосистеми, є також функції управління чи корекції стану контролюваного довкілля.

---

### 5. Застосування реконфігурованих мультифункціональних комп'ютерних систем для обробки даних з моніторингу екологічних параметрів довкілля

---

Враховуючи вказані особливості і вимоги до методик ЦОІ та технічних рішень узагальнену структуру базової системи доцільно виконати за модульно-ієрархічним принципом (рис. 1). Основою системи є базовий модуль цифрової обробки даних (АР БМ ЦОД) з функціями адаптивного налаштування за типом реалізованих завдань та, при необхідності, власного реконфігурування на програмному й апаратному рівні.

Такий модуль повинен володіти розгалуженою системою інтерфейсів і значною обчислювальною потужністю. Проте, особливих вимог щодо швидкодії і паралелізму обчислень до даного модуля не виставляється. Паралельна обробка інформації в ньому закладається на рівні обслуговування периферійних пристроїв (ПП), а не прискорених обчислень.

Основний модуль ПП охоплює масиви різномісних інтелектуальних сенсорів і вимірювальних перетворювачів (ІСіВП). Його призначення – первинна обробка інформаційних сигналів, їх форматування і маршалінг отриманих даних до АР БМ ЦОД для основної обробки. Зауважимо, що виділення в окрему структурну одиницю ІСіВП та розділення функцій первинної обробки інформації та обробки форматованих даних якраз, на відміну від інших аналогічних технічних рішень, і дозволяє уніфікувати представлення інформації і стандартизувати вимоги до базових вузлів системи.

Режими мультифункціональності та прискорених обчислень можна забезпечити за рахунок власної потужності базового модуля ЦОД, або з допомогою реконфігурованості комп'ютерної системи (РКС). Для цього в структурному рішенні (рис. 1) передбачені модулі, на основі яких реалізують репрограмовані середовища (МРС) та модулі бібліотек файлів реконфігурування (МБФРК).

Інтерфейсні шини для зв'язку з ІСіВП та серверами вищого рівня ієрархії, як правило, повинні бути розділені. Дана вимога виставляється з тих міркувань, що для реалізації окремих типів ІСіВП хоч і використовуються стандартизовані апаратні рішення інтерфейсів на доступній елементній базі, проте протоколи обміну даними є індивідуальними і повинні враховувати особливості та функціональне виконання і призначення інформаційних перетворювачів, а також забезпечувати надійне кодування і передачу службової інформації у потоці з основним інформаційним навантаженням.

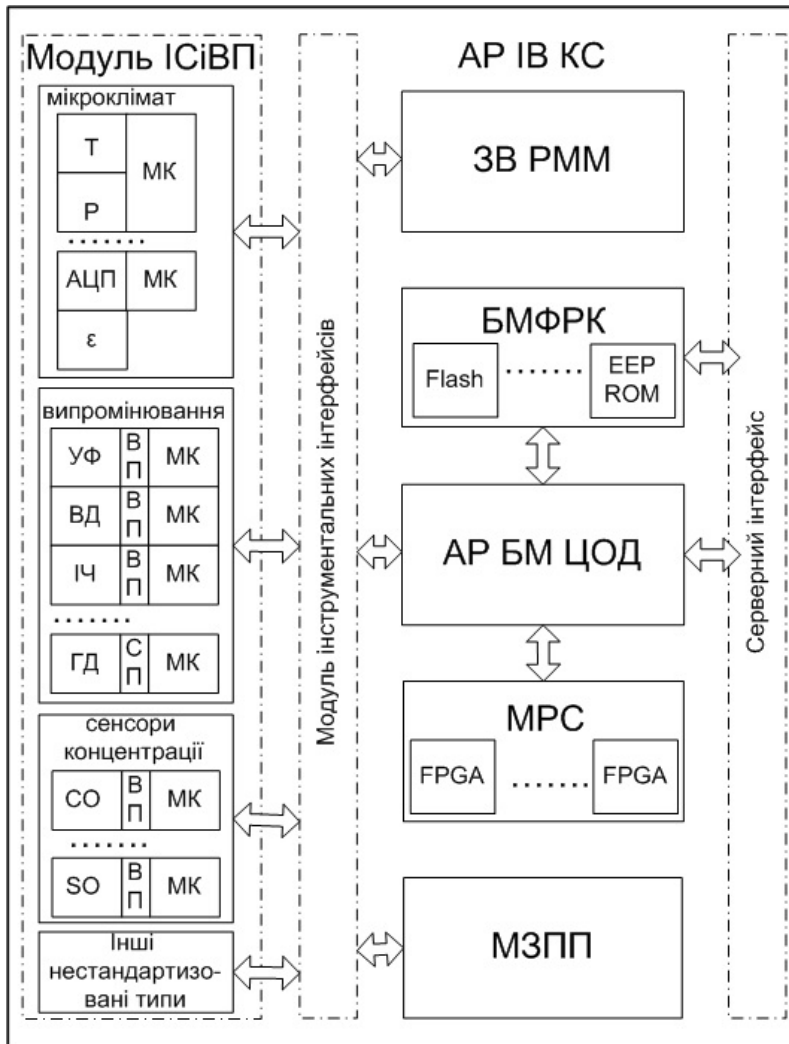


Рис. 1. Узагальнена структурна схема адаптивно реконфігурованої інформаційно-вимірювальної системи для моніторингу екологічних параметрів довкілля

Таким чином, згідно узагальненої моделі системи, на ІСіВП покладаються завдання ідентифікації типів вимірюваних сигналів, їх нормування і масштабування відповідної шкали вимірювального перетворювача. До функцій АР БМ ЦОД належать завдання загальної синхронізації та ущільнення вимірювальних каналів, а процеси швидкої обробки даних виконуються за допомогою математичних співпроцесорів, які в залежності від вхідних інформаційних потоків, реалізуються в програмовному середовищі МРС. Звичайно, що набір виконуваних задач обмежується бібліотечним списком файлів реконфігурації, однак, структурно МБФРК може реалізовуватись як на статичних елементах пам'яті, так і на основі Flash-технології, що розширює можливості системи у напрямку динамічної ідентифікації доступних файлів реконфігурування.

Для оперативного відображення контрольованих даних та можливості застосування системи в умовах виробництва її доцільно обладнати засобами візуалізації та відображення результатів моніторингу і моделювання (ЗВ РММ). Таким чином, запропонована адаптивно-реконфігурована інформаційно-вимірювальна комп'ютеризована система (АР ІВ КС) для буде функціонально завершеним об'єктом, здатним

вирішувати широкий спектр завдань з екологічного моніторингу параметрів довкілля та санітарно-гігієнічних умов виробничих середовищ.

### 6. Особливості функціонування та технічної реалізації базового модуля цифрової обробки даних

Для перевірки працездатності та ефективності обробки інформації за допомогою запропонованого підходу і технічних рішень проведено імітаційне моделювання базової структури (рис. 2) в середовищах програмування Proteus, Altium Design, а також реалізовано ескізний макет на реальних компонентах.

В якості мікропроцесора (CPU, рис. 2) використано мікроконтролер фірми STMicroelectronics STM32F103VC, що має ядро на основі ARM-архітектури Cortex-M3. Його базові характеристики, зокрема робоча частота 72 МГц, виконання множення за один такт та апаратне ділення, наявність 384 Кб флеш-пам'яті, 64 Кб оперативної пам'яті, а також наявність статичного контролера пам'яті і набору таймерів дозволяють в повному обсязі виконувати завдання синхронізації інформаційних потоків у вимірювальній системі. В той же час, наявність різних типів інтерфейсів (SPI, USART, CAN, USB, SDIO, I2C, I2S) дає можливість реалізувати робочу станцію стаціонарного типу і спрощує роботу з нестандартизованими інтерфейсами вимірювальних перетворювачів. Однак для роботи у безпроводному режимі дане рішення потребує застосування додаткових модулів безпроводної передачі даних. Наявність

USB інтерфейсу спрощує реалізацію мобільного варіанту БМЦОД для виробничих потреб. Крім того досить потужні вбудовані засоби аналогово-цифрового (ADC) та цифро-аналогового (DAC) перетворення інформаційних сигналів дає можливість безпосередньо працювати з периферійними пристроями в умовах реалізації пристрою для контролю санітарно-гігієнічних умов на виробництві, в медичних установах та інше. Таким чином, розвинена інфраструктура даного контролера забезпечує йому хороші характеристики для обміну даними з радіо модулем, репрограмованим середовищем та зовнішніми пристроями. Недоліком можна назвати відсутність апаратної можливості розшифрування зашифрованих даних, що надходять з радіомодуля. Хоча потужне ядро та висока частота роботи даного CPU дозволяє зробити це програмно.

Наразі розглядається питання застосування мікропроцесорів серії STM32F4XX (зокрема STM32F407VG) в якості CPU. Це рішення може забезпечити ряд переваг: Cortex-M4 має робочу частоту 168 МГц, 1 Мб флеш-пам'яті, 192 Кб оперативної пам'яті, наявність різноманітної периферії (додатково до попереднього – генератор випадкових чисел, USB OTG FS/HS,

Ethernet 10/100, апаратний модуль шифрування/дешифрування AES, DES, TDES, хеш-функції md5, sha1). Також в якості модуля CPU може виступати будь-які мікропроцесорні модулі, для прикладу Allwinner A20 з робочою частотою 1 ГГц на основі двох ядер Cortex-A7. Недоліком останнього можна назвати занадто потужні параметри для поставлених задач.

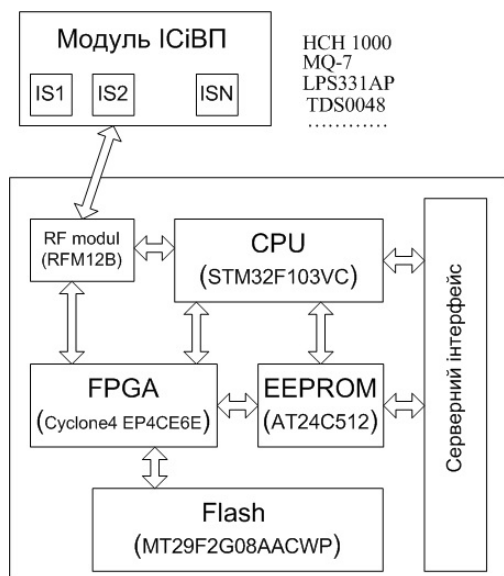


Рис. 2. Особливості реалізації та обробки даних у базовому цифровому модулі системи моніторингу параметрів довкілля

В модулі ICiBP апробовано різні типи сенсорів, що відносяться до різних категорій визначених на етапі синтезу узагальненого структурного рішення системи (рис. 1). Застосовані сенсори аналогового та цифрового типу для реєстрації тиску і температури (LPS331AP), вологості (HCH 1000), вуглекислого газу (MQ-7), складних вуглеводнів (TDS0048), а також напівпровідникові сенсори ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання показали хорошу відтворюваність результатів вимірів та узгодженість функціонування з мікроконтролерами фірми Atmel, зокрема ATmega 8 та іншими. Це дозволило реалізувати модуль інтелектуальних цифрових сенсорів, які мають можливість як проводової, так і безпроводної передачі даних, в тому числі і з використанням радіомодулів типу RFM12B.

RF modul (рис. 2) – це модуль RFM12B, що дозволяє передавати дані в двох напрямках, тобто виконує функції як приймача, так і передавача даних. Робоча частота модуля прийому-передачі 433 МГц. Якщо використовувати антену на повну хвилю передачі, то радіус дії на горизонті без перешкод складає 300 м. Для спряження з CPU чи FPGA даний модуль містить SPI-інтерфейс, що можна безперечно віднести до його переваг. Недоліком є вартість пристрою і залежність радіусу передачі від висоти антени. В якості безпроводного модуля передачі даних також частково апробовано і промислові радіомодулі, які мають потужніший радіус дії, зокрема модулі Bluetooth, GSM та GPS. Головним недоліком в цих випадках є або ціна пристрою, або радіус його дії.

В якості програмованого середовища FPGA використовується схема Cyclone4 EP4CE6E, що має наступні характеристики: 6272 логічних вентилів (LEs), 270 Кбіт пам'яті, 15 апаратних помножувачів розрядністю 18×18, 2 вузли фазового автоматичного налаштування частоти (ФАНЧ, в англійському позначенні – PLL), 8 штук незалежних банків портів. Дані мікросхеми використовуються як фільтри для швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), та як спеціалізовані процесори. Оскільки в них є забезпечена наявність апаратного паралелізму, то дані схеми дозволяють дуже швидко обробляти інформацію. Єдиним, чим відрізняються схеми даної серії від інших, це наявністю спеціалізованої периферії та кількістю вентиляльних матриць, а відповідно, швидкодією. Хоча для вирішення поставлених задач можна використати програмовані середовища інших виробників (Xilinx, Actel), але недоліком цих схем є висока цінова характеристика.

EEPROM/FLASH. Наявність даних блоків забезпечує можливість накопичення інформації а також її моделювання. В якості EEPROM для відпрацювання моделі було апробовано пам'ять фірми Atmel AT24C512 – енергонезалежна пам'ять, що працює за протоколом I2C, хоча можливе використання аналогічних компонент інших виробників. Недоліком вказаної мікросхеми є обмеження максимальної швидкості обміну даними на рівні 400 КГц, при робочій напрузі в діапазоні 2.5–5.5 В. Однак це не обмежує можливості системи, оскільки EEPROM призначено для зберігання файлів базових конфігурацій комп'ютерних засобів, а тому може використовуватись не в режимі реального часу. Якщо потрібно забезпечити вищу швидкодію, то можна використовувати інший аналог EEPROM з інтерфейсом SPI – це інтегральна схема 25LC512-I/P, яка забезпечує потрібну швидкість обміну даними на частоті 20 МГц і має об'єм пам'яті 64 КБ. Також потрібні параметри для більш швидкого обміну даними мають EEPROM з паралельною організацією, як наприклад AT28HC256 (32 КБ, швидкість запису – до 10 мс). Недоліком EEPROM є обмежений об'єм пам'яті, тому в якості модуля для зберігання даних та конфігурацій під різні задачі краще пропонувати FLASH пам'ять. Для прикладу MT29F2G08AACWP – 2 ГБ флеш пам'ять, 30 ns читання, або SPI flash M25PXX. Також в якості масиву для зберігання даних може бути використана SD-карта.

## 7. Висновки

На основі проведених досліджень запропоновано підхід та технологію синтезу універсальних технічних засобів для моніторингу екологічних параметрів довкілля широкого спектру – кліматичних, радіаційних, концентрації забруднюючих речовин та інших. Використана методика розділення функцій первинної реєстрації інформаційних сигналів та подальшої їх цифрової обробки дозволила уніфікувати вимоги до використовуваних у системі вимірювальних перетворювачів та обчислювальних засобів. Розширення функціональності системи і спрощення її технічної реалізації досягнуто за рахунок застосування структурно-модульної організації, інтелектуальних сенсорів і

вимірювальних перетворювачів та комп'ютерних засобів з реконфігуровною архітектурою. Запропонована методика паралельної обробки кодів ідентифікації інтелектуальних сенсорів у центральному процесорі та співпроцесорі збору даних дозволяє вдвічі підвищити швидкість сортування вхідних даних та, відповідно, збільшити кількість інформаційних каналів для ре-

єстрації екологічних параметрів довкілля. Універсальність запропонованого базового модуля цифрової обробки даних та наявність розвиненої периферії використаного для ескізного макетування пристрою мікропроцесора STM32F103VC дозволяє адаптувати його для застосування в якості засобу для санітарно-гігієнічного контролю виробничих приміщень.

#### Література

1. Якунина, И. В. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг : учебное пособие [Текст] / И. В. Якунина, Н. С. Попов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 188 с.
2. Шабашкевич, Б. Г. Комп'ютеризований радіометр-дозиметр ультрафіолетового випромінювання Тензор-31М. [Текст] / Б. Г. Шабашкевич, Ю. Г. Добровольський, В. Г.Юр'єв та ін. // Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. – 2013. – Т. 4, Вип. 2. – С. 89-93.
3. Вуйцік, В. Мікроелектронні сенсори фізичних величин : Науково-навчальне видання. В 3 томах. Том 1 [Текст] / В. Вуйцік, З. Ю. Готра, В. В. Григор'єв та ін.; за ред. З. Ю. Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2002. – 475 с.
4. Научно-производственная фирма “Тензор” [Електронний ресурс] / Режим доступа: <http://tenzor.ua/main/about/o-firme.html>
5. Методичні рекомендації з питань створення систем моніторингу довкілля регіонального рівня. Наказ Міністерства навколишнього природного середовища України від 16 грудня 2005, № 467 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://gov.ua>
6. Тема випуску: Злоякісні пухлини шкіри - на другому місці в Україні серед онкозахворювань [Текст] / Здоров'я. – 2010. - № 31 (166). – С. 12-17.
7. Метеообсерватория МГУ. Программа УФ мониторинга [Електронний ресурс] / Режим доступа: <http://www.momsu.ru/ufr.html>
8. Yankee Environmental Systems, Inc. (YES) [Electronic resource] / Available at: <http://www.yesinc.com/>
9. UV-B Monitoring and Research Program. Colorado State University [Electronic resource] / Available at: <http://uvb.nrel.colostate.edu/UVB/index.jsf>
10. Тарасова, В. В. Екологічна стандартизація і нормування антропогенного навантаження на природне середовище [Текст] / В. В. Тарасова, А. С. Малиновський, М. Ф. Рибак; заг. ред. В. В. Тарасової. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 276 с.
11. Клименко, М. О. Моніторинг довкілля [Текст]: підручник / М. О. Клименко, А. М. Прищепа, Н. М. Вознюк. - К.: Видавничий центр “Академія”, 2006. - 360 с.
12. Воробець, Г. І. Структурна організація системи моніторингу [Текст] / Г. І. Воробець, С. Л. Воропаєва, М. А. Кузь, А. М. Ніколаєв // Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. – 2011. – Т. 2, Вип. 1. – С. 120-123.
13. Bolchini, C. A Framework to Model Self-Adaptive Computing Systems [Text] / C. Bolchini, M. Carminati, A. Miele, E. Quintarelli // Proc. NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems, 2013. – P. 71-78.
14. Berthold, O. Self-reconfiguring System-on-Chip using Linux on a Virtex-5 FPGA [Text] / O. Berthold. - Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplominfor-matiker Humboldt-Universität zu Berlin, 2012. – 107 p.
15. Palagin, A. V. Design and Application of the PLD-Based Reconfigurable Devices [Text] / A. V. Palagin, V. M. Opanasenko // Design of Digital Systems and Devices. Series: Lecture Note in Electrical Engineering. – 2011. – Vol. 79. – P. 59-91. doi: 10.1007/978-3-642-17545-9\_3