УДК 004.7

А. О. САЧЕНКО[1], В. В. КОЧАН[1], В. С. ХАРЧЕНКО[2], В. В. ЯЦКІВ[1], М. А. ЧЕРНИШОВ[3], П. Є. БИКОВИЙ[1], О. Ю. РОЩУПКІН[4], В. С. КОВАЛЬ[1]

[1] ***Тернопільський національний економічний університет, Україна***
[2] ***Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна***
[3] ***Товариство з обмеженою відповідальністю «Вестрон», Україна***
[4] ***Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Україна***

КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ МОБІЛЬНИХ СИСТЕМ ПОСТ-АВАРІЙНОГО МОНІТОРИНГУ АЕС З ВИКОРИСТАННЯМ ФЛОТУ КВАДРОКОПТЕРІВ

У роботі запропоновано концепцію побудови інтегрованої системи пост-аварійного моніторингу АЕС і підтримки прийняття рішень. Ця концепція, незважаючи на пошкодження АЕС під час аварії, дозволить забезпечити високу надійність обміну даними з вимірювальними/керуючими каналами зв'язку. Представлена структурна схема постійно діючої провідної мережі вимірювальних і керуючих модулів та її безпровідного розширення. У перспективі, така інтегрована система може здійснювати моніторинг не тільки відповідного обладнання, але й просторовий моніторинг (приміщень і територій).

Ключові слова: *АЕС, пост-аварійний моніторинг, квадрокоптери, передавачі, ретранслятори, безпровідні канали зв'язку, система.*

Вступ

Одним з найбільш екологічно чистих потужних джерел енергії на сьогодні є атомні електростанції [1]. Для забезпечення безаварійної роботи проводиться постійний контроль параметрів і вузлів, важливих для їх безпеки, моніторинг реакторного обладнання, приміщень і прилеглих територій. Кількість сенсорів сягає декількох тисяч на енергоблок [1, 2]. Вимоги до надійності та живучості таких засобів зросли у постфукушимський період [3]. Взагалі змінюється парадигма систем та служб, що забезпечують локалізацію, мінімізацію та ліквідацію наслідків аварій. Для успішного критичного менеджменту під час та після аварії необхідне відповідне інформаційне забезпечення. Прийняття оптимальних рішень у перед- і поставарійних ситуаціях неможливе без оперативної та достовірної інформації про поточний стан і динаміку її зміни.

Практично всі сенсори енергоблоків і супутнього обладнання за допомогою вимірювальних модулів об'єднані в декілька комп'ютерних мереж [1, 4, 5]. Найчастіше ці мережі базуються на широко розповсюджених послідовних провідних інтерфейсах [1, 4]. Під час аварії частина провідних ліній зв'язку неминуче вийде з ладу. Імовірність повної втрати зв'язку (з усіма вимірювальними каналами), навіть у випадку серйозної аварії, невисока. Але при пошкодженні частини ліній зв'язку відповідні потоки інформації, в кращому випадку, мають прийняти на себе лінії, які не пошкоджені. Тоді зростає частота колізій і є висока імовірність локального перевантаження мереж [4, 6]. Це створить дефіцит інформації саме тоді, коли вона найбільш потрібна. Для виходу із цієї ситуації можна використати додаткові безпровідні канали зв'язку [5, 7], які забезпечать потрібну пропускну здатність і відновлять зв'язок з тими вимірювальними модулями, провідні канали яких пошкоджені.

Метою даної роботи є розроблення концепції побудови інтегрованої системи пост-аварійного моніторингу АЕС і підтримки прийняття рішень, яка, не зважаючи на пошкодження під час аварії, забезпечить високу надійність обміну даними з вимірювальними (і за певних умов, керуючими) каналами для прийняття обґрунтованих рішень. В межах даної роботи вважаємо, що така система може здійснювати моніторинг не тільки відповідного обладнання, але й просторовий моніторинг (приміщень і територій)

1. Основні вимоги до системи зв'язку пост-аварійного моніторингу

Основними характеристиками системи пост-аварійного моніторингу АЕС мають бути інформативність, живучість та достовірність [8]. При цьому інформативність означає, що потік даних повинен бути своєчасним, достатнім і стабільним. Система має забезпечувати потрібну пропускну здатність в

© А. О. Саченко, В. В. Кочан, В. С. Харченко, В. В. Яцків, М. А. Чернишов, П. Є. Биковий, О. Ю. Рощупкін, В. С. Коваль

пост-аварійних умовах. Зрозуміло, що тільки за умов високої живучості забезпечується потрібна інформативність. Отримані дані повинні бути достовірними, отже у пост-аварійних умовах, коли частина вимірювальних та керуючих модулів пошкоджена, забезпечити достовірність можна лише за рахунок самодіагностики модулів, за результатами якої дистанційно визначаються поточні метрологічні характеристики вимірювальних та керуючих каналів.

Забезпечення означених характеристик у пост-аварійних умовах при використанні безпровідного зв'язку є непростою задачею. Адже вимірювальні та керуючі модулі можуть знаходитися в приміщеннях або під завалами, що значно ослаблює рівень сигналу. При цьому на АЕС рівень електромагнітних завад у пост-аварійних умовах різко зростає. В той же час служби, що забезпечують локалізацію та мінімізацію наслідків аварій, мають розміщатися на віддалі, яка виключає їх пошкодження під час аварії. Таким чином, забезпечення безпосереднього безпровідного зв'язку між вимірювальними та керуючими модулями і центром керування вимагає значної потужності передавачів. Але імовірність пошкодження при аварії мережі живлення вимірювальних та керуючих модулів теж дуже висока, тому ці модулі та їх вузли безпровідного зв'язку будуть живитися від аварійного акумулятора. У такому випадку потужні передавачі значно знизять живучість системи пост-аварійного моніторингу за рахунок обмеження терміну роботи без відновлення заряду акумулятора.

2. Основні принципи забезпечення інформативності, живучості та достовірності

Забезпечити безперебійне тривале (економічне з точки зору енергоспоживання) функціонування системи пост-аварійного моніторингу на базі безпровідної мережі в умовах високого рівня завад (тобто забезпечити інформативність системи) можна лише значно (в багато разів) зменшивши відстань безпровідного зв'язку та суттєво підвищивши стійкість такого зв'язку до завад. Першу вимогу можна виконати шляхом застосування проміжних ретрансляційних модулів. Такі модулі повинні бути рухомими для того, щоби: (1) перед аварією знаходитися на відстані, яка практично виключає їх пошкодження під час аварії; (2) достатньо швидко (на протязі хвилин) зайняти потрібне місце відповідно до характеру аварії, а також рівня завад і відстані до обслуговуваних вимірювальних та керуючих модулів; (3)пересуватися (змінювати місце дислокації) відповідно до зміни умов, вказаних у п. 2.

Виконати перелічені вимоги найлегше, коли ретрансляційні модулі переміщати повітряним шляхом. Доволі широкого розповсюдження останнім часом набули квадрокоптери [9 - 11]. Саме вони на сьогодні є найбільш вигідною платформою, де можуть бути розміщені ретрансляційні модулі. Таке рішення забезпечує максимальну можливість доступу на потрібну позицію та високу швидкість переміщення. Мережа ретрансляторів на основі квадрокоптерів, які базуються на значній віддалі від атомної електростанції та вилітають на позиції після виникнення аварії, має можливість забезпечити потрібний потік даних за хвилини після виникнення аварії.

Для підвищення стійкості безпровідного зв'язку до завад необхідно застосовувати коди з максимальними можливостями виявлення та корекції помилок [12, 13]. Однак в умовах високого рівня завад необхідно забезпечити завадостійкість не лише даних і команд. Необхідно також забезпечити високу завадостійкість самого обміну. Відомі протоколи розраховані на звичайний рівень завад [14]. Вони не будуть нормально функціонувати під час аварії на атомній електростанції. Необхідне розроблення протоколу обміну даними, який буде мати допустимий рівень завад, відповідний до найбільш жорстких пост-аварійних умов на атомній електростанції. Але висока завадостійкість вимагає використання надлишкових кодів, тому, для зменшення трафіку, необхідно перед кодуванням максимально стиснути сенсорні дані [15].

Для забезпечення достатньої пропускної здатності каналів зв'язку необхідно передбачити можливість розпаралелення потоків даних [16], тобто розподілу обслуговуваних вимірювальних і керуючих модулів між окремими ретрансляторами. При цьому, для підтримання інформативності системи пост-аварійного моніторингу на достатньому рівні (а отже і її живучості), необхідно забезпечити динамічну адаптацію ретрансляторів та програмно-технічну реконфігурацію структури до умов функціонування системи. Окремі ретранслятори можуть бути у пост-аварійних умовах пошкоджені або повернутися на місце базування для відновлення заряду акумуляторів. Їх трафік повинні взяти на себе інші ретранслятори.

Живучість системи пост-аварійного моніторингу забезпечується, по-перше, резервним акумуляторним живленням вимірювальних та керуючих каналів. При цьому слід максимально економити заряд акумуляторів для продовження часу функціонування системи. Для цього слід, крім використання енергоощадного апаратного забезпечення, знизити (на скільки це можливо) потужність передавачів безпровідного зв'язку. Цього можна досягнути за раху-

нок зменшення відстані між ретрансляторами та обслуговуваними ними вимірювальними та керуючими модулями. Це можливо за рахунок оптимізації розподілу обслуговуваних вимірювальних і керуючих модулів між окремими ретрансляторами. При цьому, для мінімізації енергоспоживання, можна використати динамічну оцінку рівня помилок при обміні даними та адаптацію потужності передавачів до цього рівня.

По-друге, висока живучість системи поставарійного моніторингу забезпечується властивостями мережі ретрансляторів. Останні появляються на місці аварії після її виникнення (не можуть бути пошкоджені при аварії), повинні мати змогу динамічно перерозподіляти потоки даних, оптимізувати своє положення відносно обслуговуваних вимірювальних і керуючих модулів, а також конфігурації місцевості та наявності механічних перешкод. Квадрокоптери-ретранслятори повинні відновлювати заряд акумуляторів за рахунок тимчасового повернення на місце базування. Пошкоджені квадрокоптери повинні замінюватися іншими за рахунок передбаченого резерву.

Висока достовірність потоку даних повинна бути забезпечена, по-перше, за рахунок постійного самотестування каналів зв'язку ретрансляторів. При цьому можна не передбачати часте виконання процедури самотестування. Використання завадостійких кодів з корекцією помилок дає змогу поточного контролю каналів зв'язку за рівнем помилок. Рівень помилок одночасно характеризує рівень завад та формує інформацію для підсистеми оптимального розміщення квадрокоптерів. При цьому можливий вибір місця та потужності передавача за умови високого рівня помилок. Але цей рівень помилок повинен бути прийнятний для даної системи завадостійкого кодування.

Окремою задачею є забезпечення самотестування вимірювальних і керуючих модулів. Ці модулі можуть бути пошкоджені як під час аварії, так і після неї (наприклад, за рахунок дії проникаючої радіації). Тому забезпечення достовірності даних можна досягнути, наприклад, шляхом оснащення вимірювальних і керуючих модулів автономними підсистемами метрологічного забезпечення [17 - 19]. Такі підсистеми повинні бути стійкими до похибок їх компонентів, які можуть різко зростати в поставарійних умовах (наприклад, за рахунок дії проникаючої радіації).

Таким чином, пропонуються наступні принципи функціонування системи.:

1. Базування мережі зв'язку системи поставарійного моніторингу стану АЕС на групі (флоті) квадрокоптерів, що постійно базуються на значній відстані від атомної електростанції. Мережа зв'язку розгортається після аварії, коли квадрокоптери вилітають в зону аварії.

2. Флот квадрокоптерів, за призначенням і оснащенням, діляться на ретранслятори, спостерігачі (оснащені телекамерою) та додаткові давачі (утримують або скидають додаткові давачі у потрібному місці). Квадрокоптери повинні мати змогу змінювати призначення за рахунок переоснащення на місці базування.

3. Квадрокоптери-ретранслятори взаємодіють згідно принципу "один ведучий". Такий принцип забезпечує максимальну надійність функціонування системи безпровідного зв'язку (виникає мінімум колізій). При можливому пошкодженні "ведучого" його функції переймає інший квадрокоптер-ретранслятор, наприклад, той, який має найменший час напрацювання серед задіяних на місці аварії.

4. "Ведучий" квадрокоптер-ретранслятор визначає зону розміщення кожного іншого квадрокоптера-ретранслятора та з якими вимірювальними модулями він буде взаємодіяти або його інше завдання.

5. Кожен квадрокоптер-ретранслятор самостійно вибирає місце мінімуму завад (згідно заданої "ведучим" зони) та необхідну потужність передавачів вимірювальних модулів (за рівнем помилок у ретрансльованих даних), а також можливість посадки (за дозволом Центру ліквідації наслідків аварії, з урахуванням її оцінки за допомогою квадрокоптерів-спостерігачів).

6. Квадрокоптери-спостерігачі дають змогу постійного візуального моніторингу місця аварії для оцінки дій квадрокоптерів іншого призначення, вибору безпечних місць приземлення квадрокоптерів-ретрансляторів, оцінки траєкторії руху квадрокоптерів-давачів та місця їх знаходження.

7. Вимірювальні та керуючі модулі оснащуються резервним акумуляторним живленням, блоками безпровідного зв'язку та системами самотестування і самодіагностування.

Для виконання вимог до системи використовуються самоадаптація, самотестування, самолікування (self- healing).

3. Структурна схема пропонованої системи

Структурна схема постійно діючої провідної мережі вимірювальних і керуючих модулів та її безпровідного розширення представлена на рис. 1 [20]. Сенсори та актуатори від 1 до n підключені до m традиційних вимірювальних та керуючих модулів. Кожен з них включає багатоканальний аналого-цифровий перетворювач ADC або цифро-аналоговий перетворювач DAC, мікроконтролер

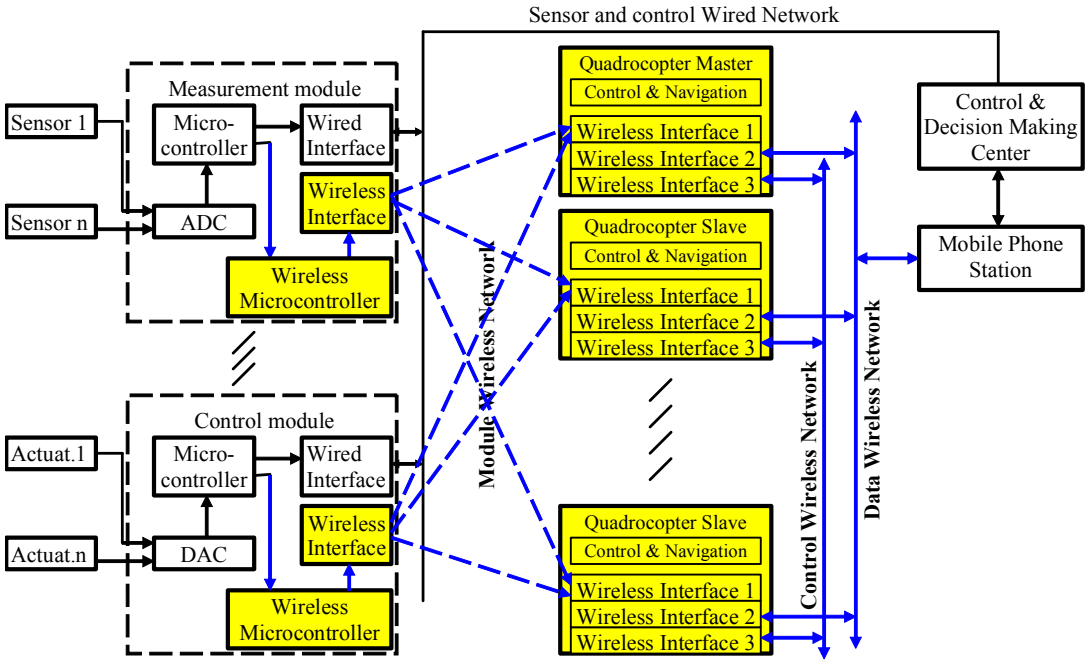

Рис. 1. Структурна схема провідної мережі вимірювальних і керуючих модулів та її безпровідне розширення

традиційного оброблення даних і адаптер провідного інтерфейсу (Wired Interface). Через цей інтерфейс вимірювальні та керуючі модулі взаємодіють з центром керування і прийняття рішень – отримують команди та пересилають результати вимірювання. Для роботи цих модулів у складі системи пост-аварійного моніторингу кожен модуль оснащений додатковим мікроконтролером, який приймає дані із безпровідної мережі або готує дані для передачі через неї (Wireless Microcontroller). Цей мікроконтролер працює лише в перед-аварійних та пост-аварійних режимах. Він отримує результати вимірювання (від мікроконтролера вимірювального модуля або від адаптера провідного інтерфейсу), стискає їх, кодує та передає через безпровідний інтерфейс (Wireless Interface). Вимірювальні та керуючі модулі, при відсутності напруги мережі їх живлення, живляться від автономного акумуляторного блока (на схемі не показаний).

У режимі нормальної експлуатації обмін даними та командами відбувається через провідну мережу. При її пошкодженні під час аварії створюється безпровідна мережа на базі квадрокоптерів. За командами "ведучого" вони розміщуються у повітрі таким чином, щоби: охопити всі вимірювальні модулі, які оснащені безпровідним зв'язком; розподілити потоки даних через квадрокоптери по можливості рівномірно;забезпечити максимальну достовірність передачі сенсорних даних та команд керування;не стикатися з перешкодами;не створювати перешкод один одному.

При автономному живленні вимірювальних і керуючих модулів лише від резервних акумуляторів дуже важливо мінімізувати їх енергоспоживання. Для цього слід використати всі можливості, включаючи обмеження потужності передавача Wireless Interface. Квадрокоптери у цьому випадку слід розмістити у відповідних зонах, достатньо наближених до джерел сигналу. Одним з важливих критеріїв ефективності енергозбереження цим методом може бути рівень помилок при обміні повідомленнями. Якщо рівень помилок прийнятний для вибраного методу кодування, то можна спробувати зменшити потужність передавачів Wireless Interface як в складі вимірювальних модулів, так і в складі квадрокоптерів.

В свою чергу, вимога наближення до джерел сигналу тісно пов'язана з виконанням пп. 4 і 5. Для виконання всіх цих вимог квадрокоптери повинні бути оснащені доволі високоякісною системою навігації. Така система повинна забезпечувати різні види навігації:

1) на основі існуючої системи глобальної навігації (GPS) [21]. Зазначимо, що у пост-аварійних умовах на АЕС різко підвищується рівень завад. У той же час сигнал від супутників GPS доволі слабкий. Імовірність того, що він може виявитися недостатнім для надійної навігації, дуже висока;

2) на основі локальної системи маяків, аналогічно до GPS [22 - 25]. Віддаль до локальних маяків (джерел індивідуальних сигналів, місце положення яких прив'язане до локальної карти місцевості) може бути в багато тисяч разів меншою, забезпечення

необхідного рівня сигналу, навіть при живленні від акумуляторів, не буде проблемою;

3) захист від зіткнень з місцевими перешкодами найкраще здійснювати за допомогою ультразвукової локації [25, 26]. Але при цьому ультразвукові зондуючі імпульси повинні мати унікальне індивідуальне кодування. Інакше імпульси інших квадрокоптерів будуть прийматися за свої, тоді система захисту від зіткнень з перешкодами буде не працездатною;

4) але, як показав аналіз, система ультразвукової локації надто неточна та, у динамічних умовах, надто повільна. Вона не зможе перешкодити зіткненням квадрокоптерів між собою. Оцінка варіантів захисту від таких зіткнень показала, що кращим варіантом буде врахування позицій всіх квадрокоптерів одним "ведучим" і видача ним команд про позиції та вектори руху кожному (принцип Master-Slave). Однак при пошкодженні ведучого (Master) система стає непрацездатною. Тому необхідно передбачити можливість, при відсутності команд Master, прийняття на себе його функцій кожним (або визначеним) квадрокоптером [27, 28]. Для уникнення колізій функції Master доцільно приймати за ієрархічним принципом.

Слід відзначити, що збір даних сенсорів та керування актуаторами (обмін у мережі вимірювальних і керуючих модулів), ретрансляція цих даних (обмін повідомленнями із центром прийняття рішень та керування) та керування квадрокоптерами (за командами "ведучого") – різні задачі, які мають мало спільного. Хіба що при виконанні задачі обміну у мережі вимірювальних і керуючих модулів може бути визначений рівень помилок і ця інформація повинна враховуватися при виборі місця дислокації квадрокоптера. Тому, для підвищення надійності функціонування системи пост-аварійного моніторингу, доцільно розділити вирішення цих задач на апаратному рівні. Їх мають виконувати різні мікроконтролери, оснащені власними периферійними пристроями. При цьому доцільно формувати три незалежні безпровідні мережі обміну даними (вимірювальних і керуючих модулів, ретрансльованих даних і керування квадрокоптерами), які не будуть конфліктувати між собою, створювати черги тощо.

Висновки

Пропонована концепція побудови систем пост-аварійного моніторингу АЕС на базі квадрокоптерів забезпечує виконання вимог до інформативності, живучості та достовірності. Такий підхід дає змогу уникнути неприйнятних пошкоджень і фатальної відмови системи пост-аварійного моніторингу під час аварії, забезпечує мінімальний час розгортання системи, достатню пропускну здатність каналів зв'язку, можливе (при потребі) її нарощення, відновлення функціонування при пошкодженні компонентів, а також можливість гнучкого використання для вирішення інших задач (доставки сенсорів та іншого обладнання у необхідне місце).

Література

1. Nuclear measurement technologies & solutions implemented during nuclear accident at Fukushima [Text] / M. Morichi, H. Toubon, F. Bronson, R. Venkataraman, J. Beaujoin, P. Dubart // Proceedings of 3rd Int. Conf. on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA.) – 2013. – Vol. 1, No. 8. – P. 23-27.

2. Hashemian, H. M. Maintenance of process instrumentation in nuclear power plants. [Text] / H. M. Hashemian. – Springer, 2006. – 304 p.

3. Measurements of Fukushima fallout by the Berkeley Radiological Air and Water Monitoring project [Text] / Mark S Bandstra, K. Vetter, D. H. Chivers, T. Aucott, C. Bates, A. Coffer, J. Curtis, D. Hogan, A. Iyengar, Q. Looker, J. Miller, V. Negut, B. Plimley, N. Satterlee, L. Supic, B. Yee // Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 23-29 Oct. 2011. – P. 18-24.

4. Computer networks [Text] / A. Sachenko, Yu. Kulakov, V. Kochan, V. Turchenko, P. Bykovyy, I. Maykiv. – Ternopil, 2012. – 476 p.

5. Hashemian, H. M. Wireless sensors for predictive maintenance of rotating equipment in research reactors. [Text] / H. M. Hashemian // Annals of Nuclear Energy. –Vol. 38, Iss. 2–3. – February–March 2011. – P. 665-680.

6. Decentralized Control of Unmanned Aerial Vehicle Collaborative Sensing Missions [Text] / A. Ryan, J. Tisdale, M. Godwin, D. Coatta, D. Nguyen, Spry, Raja Sengupta, J. K. Hedrick // American Control Conference, 9-13 July 2007. – P. 4672-4677

7. Daniel, K. Leveraging public wireless communication infrastructures for UAV-based sensor networks [Text] / K. Daniel, S. Rohde, C. Wietfeld // IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security (HST), 8-10 Nov. 2010. – P. 179 - 184.

8. Yastrebenetsky, M. Nuclear Power Plant Instrumentation and Control Systems for Safety and Security [Text] / M. Yastrebenetsky, V. Kharchenko (editors). – USA : IGI-Global, 2014. – 472 p.

9. Nikolakopoulos, G. Switching Networked Attitude Control of an Unmanned Quadrotor [Text] / George Nikolakopoulos, Kostas Alexis // International Journal of Control, Automation, and Systems. – Vol. 11, Iss. 2. – P. 389-397.

10. Ryan, A. A mode-switching path planner for UAV-assisted search and rescue [Text] / A. Ryan, J. K. Hedrick // 44th IEEE Conference on Decision and Control, 2005 and 2005 European Control Conference. (CDC-ECC), 12-15 Dec. 2005. – P. 1471-1476.

11. Investigations of DDDAS for command and control of UAV swarms with agent-based modeling

[Text] / R. McCune, R. Purta, M. Dobski, A. Jaworski, G. Madey, A. Madey, Yi Wei, M.B. Blake // Simulation Conference (WSC), 8-11 Dec. 2013. –P. 1467-1478.

12. Zhengbing, Hu. Increasing the Data Transmission Robustness in WSN Using the Modified Error Correction Codes on Residue Number System [Text] / Hu Zhengbing, V. Yatskiv, A. Sachenko // Elektronika ir Elektrotechnika. — 2015. –Vol. 21, Iss. 1. — P. 76-81.

13. Oualh, N. Sensor and Data Privacy in Industrial Wireless Sensor Networks [Text] / N. Oualha, A. Olivereau // Conference on Network and Information Systems Security (SAR-SSI), 18-21 May 2011. – P. 1-8.

14. ZigBee wireless sensor network for radiation monitoring at nuclear facilities [Text] / R. Gomaa, I. Adly, K. Sharshar, A. Safwat, H. Ragai // 6th Joint IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 23-25 April 2013. – P. 1-4.

15. Jun Su. Method and Device for Image Coding & Transferring Based on Residue Number System [Text] / Su Jun, V. Yatskiv // Sensors & Transducers Journal. – 2013. – Vol. 18, Special Issue. – P. 60-65.

16. Improved Method of Ant Colonies to Search Independent Data Transmission Routes in WSN [Text] / Su Jun, N. Yatskiv, A. Sachenko, V. Yatskiv // Proc. of 2012 IEEE 1st International Symposium on Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS-2012). – Offenburg, Germany, 2012. – P. 52 - 57.

17. Kochan, R. Method of ADC's Nonlinearity Identification [Text] / R. Kochan, O. Kochan // Proc. of the IEEE Int. Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advancing Computing Systems (IDAACS'2007), Dortmund, Germany, 6-8 September 2007. – P. 14 - 17.

18. Integral Nonlinearity Correction of ADC Using Multi-Resistors Voltage Divider [Text] / R. Kochan, O. Kochan, H. Klym, O. Osolinskiy, P. Bykovyy // Proc. of the IEEE Int. conf. on Intelligent Data Acquisition and Advancing Computing Systems (IDAACS'2015), Warsaw, Poland, 23–25 September 2015. – P. 14 - 17.

19. Hashemian, H. M. Apparatus for measuring the degradation of a sensor time constant [Text] / H. M Hashemia., T. W. Kerlin, B. R. Upadhyaya // U.S. Patent No. 4,295,128. – Washington, DC: – U.S. Patent and Trademark Office. — 1981.

20. Mobile Ad Hoc Wireless Network for Pre- and Post-Emergency Situations in Nuclear Power Plant [Text] / Robert E. Hiromoto, A. Sachenko, V. Kochan, V. Koval, V. Turchenko, O. Roshchupkin, V. Yatskiv, K. Kovalok. // The 2nd IEEE Int. Symposium on Wireless Systems within the Conf. on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems, 11-12 September 2014. – Offenburg, Germany, 2014. – P.92-96.

21. An overview of emerging results in cooperative UAV control [Text] / A. Ryan, Marco Zennaro, A. Howell, Raja Sengupta, J. K. Hedrick // The 43rd IEEE Conference on Decision and Control, 17-17 Dec. 2004. – Vol. 1. – P.602-607.

22. Rudol, P. Vision-based pose estimation for autonomous indoor navigation of micro-scale Unmanned Aircraft Systems [Text] / P. Rudol, M. Wzorek, P. Doherty // IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 3-7 May 2010. – P. 1913-1920.

23. Kim, J. Autonomous airborne navigation in unknown terrain environments [Text] / J. Kim, S. Sukkarieh // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – July 2004. – Vol. 40, No.3. – P.1031-1045.

24. A multiple UAV system for vision-based search and localization [Text] / J. Tisdale, A. Ryan, Zu Kim, D. Tornqvist, J. K. Hedrick // American Control Conference, 11-13 June 2008. – P. 1985-1990.

25. Girard, A. R. Border patrol and surveillance missions using multiple unmanned air vehicles [Text] / A. R. Girard, A. S. Howell, J. K. Hedrick // The 43rd IEEE Conference on Decision and Control, 17-17 Dec. 2004. – Vol. 1. –P. 620-625.

26. Kim, Jong-Hyuk. Airborne simultaneous localisation and map building [Text] / Jong-Hyuk Kim, S. Sukkarie // The Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA '03), 14-19 Sept. 2003. – Vol. 1. – P. 406-411.

27. Rogers, A. Agent Technologies for Sensor Networks [Text] / A. Rogers, D. Corkill Daniel, N. R. Jennings // IEEE Intelligent Systems. – Vol. 2, No. 2. – March-April 2009. – P. 13-17.

28. Delle Fave, F. M. Deploying the max-sum algorithm for decentralized coordination and task allocation of unmanned aerial vehicles for live aerial imagery collection [Text] / F. M. Delle Fave, A. Rogers, Z. Xu, S. Sukkarieh, N. R. Jennings // IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2012), 14-18 May 2012. – P. 469-476.

References

1. Morichi, M., Toubon, H. Bronson, F. Venkataraman, R. Beaujoin, J. Dubart, P. Nuclear measurement technologies & solutions implemented during nuclear accident at Fukushima. *Proceedings of 3rd Int. Conf. on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA)*, 2013, vol. 1, no. 8, pp. 23-27.

2. Hashemian, H. M. *Maintenance of process instrumentation in nuclear power plants. Springer.* 2006. 304 p.

3. Bandstra, Mark, S., Vetter, K., Chivers, D.H.; Aucott, T., Bates, C., Coffer, A., Curtis, J., Hogan, D., Iyengar, A., Looker, Q., Miller, J., Negut, V., Plimley, B., Satterlee, N., Supic, L., Yee, B. Measurements of Fukushima fallout by the Berkeley Radiological Air and Water Monitoring project. *Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 23-29 Oct. 2011, pp.18-24.*

4. Sachenko, A., Kulakov, Yu., Kochan, V., Turchenko, V., Bykovyi, P., Maykiv, I. *Computer networks.* Ternopil, 2012, pp. 476.

5. Hashemian, H. M. Wireless sensors for predictive maintenance of rotating equipment in research reactors. *Annals of Nuclear Energy,* vol. 38, iss. 2–3. February–March 2011, pp. 665-680.

6. Ryan, A., Tisdale, J., Godwin, M., Coatta, D.,

Nguyen, D., Spry, S., Sengupta, Raja, Hedrick, J.K. Decentralized Control of Unmanned Aerial Vehicle Collaborative Sensing Missions. *American Control Conference.* 9-13 July 2007, pp. 4672-4677.

7. Daniel, K., Rohde, S., Wietfeld, C. Leveraging public wireless communication infrastructures for UAV-based sensor networks. *IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security (HST)*. 8-10 Nov. 2010, pp.179 - 184.

8. Yastrebenetsky, M., Kharchenko, V. *Nuclear Power Plant Instrumentation and Control Systems for Safety and Security.* USA, IGI-Global Publ., 2014. 472 p.

9. Nikolakopoulos, G., Alexis, K. Switching Networked Attitude Control of an Unmanned Quadrotor. *International Journal of Control, Automation, and Systems,* vol. 11, iss. 2, pp. 389-397.

10. Ryan, A., Hedrick, J. K. A mode-switching path planner for UAV-assisted search and rescue. *44th IEEE Conference on Decision and Control, 2005 and 2005 European Control Conference. (CDC-ECC),* 12-15 Dec. 2005, pp.1471-1476.

11. McCune, R., Purta, R., Dobski M., Jaworski A., Madey G., Madey A., Yi Wei, Blake, M.B. Investigations of DDDAS for command and control of UAV swarms with agent-based modeling. *Simulation Conference (WSC)*, 8-11 Dec. 2013, pp. 1467-1478.

12. Zhengbing, Hu, Yatskiv, V., Sachenko. A. Increasing the Data Transmission Robustness in WSN Using the Modified Error Correction Codes on Residue Number System. *Elektronika ir Elektrotechnika,* 2015, vol. 21, iss. 1, pp. 76-81.

13. Oualha N., Olivereau A. Sensor and Data Privacy in Industrial Wireless Sensor Networks. *Conference on Network and Information Systems Security (SAR-SSI)*, 18-21 May 2011, pp. 1-8.

14. Gomaa, R., Adly, I., Sharshar, K., Safwat, A., Ragai, H. ZigBee wireless sensor network for radiation monitoring at nuclear facilities. *6th Joint IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC),* 23-25 April 2013, pp. 1-4.

15. Jun, Su, Yatskiv. V., Method and Device for Image Coding & Transferring Based on Residue Number System. *Sensors & Transducers Journal.* 2013. vol. 18, special Issue, pp. 60-65.

16. Jun, Su., Yatskiv, N., Sachenko, A., Yatskiv, V. Improved Method of Ant Colonies to Search Independent Data Transmission Routes in WSN. *Proc. of 2012 IEEE 1st International Symposium on Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS-2012),* Offenburg, Germany, 2012, pp. 52 - 57.

17. Kochan, R., Kochan, O. Method of ADC's Nonlinearity Identification, *Proc. of the IEEE Int. Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advancing Computing Systems (IDAACS'2007)*, Dortmund, Germany, 6- 8 Sept. 2007, pp. 14 - 17.

18. Kochan, R., Kochan, O. Klym H., Osolinskiy, O., Bykovyy, P. Integral Nonlinearity Correction of ADC Using Multi-Resistors Voltage Divider, *Proc. of the IEEE Int. conf. on Intelligent Data Acquisition and Advancing Computing Systems (IDAACS'2015).* Warsaw, Poland. 23–25 Sept. 2015, pp. 14 - 17.

19. Hashemian, H. M., Kerlin, T. W., Upadhyaya, B. R. Apparatus for measuring the degradation of a sensor time constant. *U.S. Patent No. 4,295,128.* Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1981.

20. Hiromoto, R. E., Sachenko, A., Kochan, V., Koval, V., Turchenko, V., Roshchupkin, O., Yatskiv, V., Kovalok. K., Mobile Ad Hoc Wireless Network for Pre- and Post-Emergency Situations in Nuclear Power Plant. *The 2nd IEEE Int. Symposium on Wireless Systems within the Conf. on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems.* 11-12 September 2014. Offenburg, Germany, pp.92-96.

21. Ryan, A., Zennaro, Marco, Howell A., Sengupta Raja, Hedrick J.K. An overview of emerging results in cooperative UAV control, *The 43rd IEEE Conference on Decision and Control*. 17-17 Dec. 2004. Vol.1, pp. 602-607.

22. Rudol, P., Wzorek, M., Doherty, P. Vision-based pose estimation for autonomous indoor navigation of micro-scale Unmanned Aircraft Systems. *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA).* 3-7 May 2010, pp. 1913-1920.

23. Kim, J., Sukkarieh, S. Autonomous airborne navigation in unknown terrain environments. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems.* July 2004. vol. 40, no. 3, pp. 1031-1045.

24. Tisdale, J., Ryan, A., Zu, Kim, Tornqvist, D., Hedrick, J. K. A multiple UAV system for vision-based search and localization. *American Control Conference*. 11-13 June 2008, pp. 1985-1990.

25. Girard, A. R., Howell, A. S., Hedrick, J. K., Border patrol and surveillance missions using multiple unmanned air vehicles. *The 43rd IEEE Conference on Decision and Control,* 17-17 Dec. 2004, vol. 1, pp. 620-625.

26. Jong-Hyuk, Kim, Sukkarie, S., Airborne Simultaneous Localisation and Map Building, *The Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA '03),* 14-19 Sept. 2003, vol. 1, pp. 406-411.

27. Rogers, A., Corkill, Daniel D., Jennings, N. R. Agent Technologies for Sensor Networks. *IEEE Intelligent Systems*. vol. 2, no. 2, March-April 2009, pp. 13-17.

28. *Delle Fave, F. M., Rogers, A., Xu, Z., Sukkarieh, S., Jennings, N. R. Deploying the max-sum algorithm for decentralized coordination and task allocation of unmanned aerial vehicles for live aerial imagery collection. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2012), 14-18 May 2012, pp. 469-476.*

Надійшла до редакції 19.03.2016, розглянута на редколегії 14.04.2016

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОСТ-АВАРИЙНОГО МОНИТОРИНГА АЕС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЛОТА КВАДРОКОПТЕРОВ

А. А. Саченко, В. В. Кочан, В. С. Харченко, В. В. Яцкив, М. А. Чернышов, П. Е. Биковый, А. Ю. Рощупкин, В. С. Коваль

В работе предложена концепция построения интегрированной системы пост-аварийного мониторинга АЭС и поддержки принятия решений. Эта концепция, несмотря на повреждения АЭС во время аварии, позволит обеспечить высокую надежность обмена данными с измерительными / управляющими каналами связи. Представлена структурная схема постоянно действующей проводной сети измерительных и управляющих модулей и ее беспроводной расширение. В перспективе такая интегрированная система может осуществлять мониторинг не только соответствующего оборудования, но и пространственный мониторинг (помещений и территорий).

Ключевые слова: АЭС, пост-аварийный мониторинг, квадрокоптер, передатчики, ретрансляторы, беспроводные каналы связи, система.

THE CONCEPTION OF IMPLEMENTING THE MOBILE SYSTEMS OF AFTER-EMERGENSY MONITORING OF NUCLEAR POWER PLANTS USING A FLEET OF QUADROCOPTERS

A. O. Sachenko, V. V. Kochan, V. S. Kharchenko, V. V. Yatskiv, M. A. Chernyshov, P. Ye. Bykovyy, O. Yu. Roshchupkin, V. S. Koval

The paper presents the concept of implementation an integrated system of post-nuclear disaster monitoring and decision support. This concept is in spite of the nuclear power plant damaged during the emergency will ensure high reliability of data exchange with measuring / control communications channels. The block diagram of a constantly working wired network of measurement and control units and its wireless expansion is presented. In the long term, such an integrated system can monitor not only the appropriate equipment but also the spatial monitoring (premises and territories).

Keywords: nuclear power plant, post-emergency monitoring, quadrocopter, transmitters, repeaters, wireless links, system.

Саченко Анатолій Олексійович – д-р техн. наук, проф. кафедри інформаційно-обчислювальних систем та управління Тернопільського національного економічного університету, Тернопіль, Україна, e-mail: as@tneu.edu.ua.

Кочан Володимир Володимирович – канд. техн. наук, проф. кафедри інформаційно-обчислювальних систем та управління Тернопільського національного економічного університету, Тернопіль, Україна, e-mail: vk@tneu.edu.ua.

Харченко В'ячеслав Сергійович – д-р техн. наук, проф., зав. каф. комп'ютерних систем і мереж, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна, e-mail: v_s_kharchenko@ukr.net.

Яцків Василь Васильович – канд. техн. наук, проф. кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Тернопільського національного економічного університету, Тернопіль, Україна, e-mail: jazkiv@ukr.net.

Чернишов Михайло Анатолійович – генеральний директор ТОВ «ВЕСТРОН», Харків, Україна, e-mail: office@westron.kharkov.ua.

Биковий Павло Євгенович – канд. техн. наук, доц. кафедри інформаційно-обчислювальних систем та управління Тернопільського національного економічного університету, Тернопіль, Україна, e-mail: pb@tneu.edu.ua.

Рощупкін Олексій Юрійович – канд. техн. наук, асистент кафедри комп'ютерних систем та мереж, Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича, Чернівці, Україна, e-mail: oleksiy.roshchupkin@gmail.com.

Коваль Василь Сергійович – канд. техн. наук, доц. кафедри інформаційно-обчислювальних систем та управління Тернопільського національного економічного університету, Тернопіль, Україна, e-mail: vko@tneu.edu.ua.

Sachenko Anatoly Oleksiyovych – Doctor of Science, Professor, Department of Information Computer Systems and Control, Ternopil National Economic University, Ternopil, Ukraine, e-mail: as@tneu.edu.ua.

Kochan Volodymyr Volodymyrovych – Dr. Professor, Department of Information Computer Systems and Control, Ternopil National Economic University, Ternopil, Ukraine, e-mail: vk@tneu.edu.ua.

Kharchenko Vyacheslav Sergiyovych – Doctor of Science, Professor, Head of Department of Computer Systems and Networks of National Aerospace University named by N. Ye. Zhukovskiy "KhAI", Kharkiv, Ukraine, e-mail: V.Kharchenko@khai.edu.

Yatskiv Vasyl Vasylovych – Dr. Professor, Department of Specialized Computer Systems, Ternopil National Economic University, Ternopil, Ukraine, e-mail: jazkiv@ukr.net.

Chernyshov Mykhaylo Anatoliyovych – General Director of "WESTRON», Kharkiv, Ukraine, e-mail: office@westron.kharkov.ua.

Bykovyy Pavlo Yevhenovych – Dr., Assoc. Professor, Department of Information Computing Systems and Control, Ternopil National Economic University, Ternopil, Ukraine, e-mail: pb@tneu.edu.ua.

Roshchupkin Olexiy Yuriyovych – Dr., Assist. Professor, Department of Computer Systems and Networks, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine, e-mail: oleksiy.roshchupkin@gmail.com.

Koval Vasyl Sergiyovych – Dr., Assoc. Professor, Department of Information Computer Systems and Control, Ternopil National Economic University, Ternopil, Ukraine, e-mail: vko@tneu.edu.ua.