

- Л. Р. Бабчук // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 6/2(60). – С. 14-17.  
 10. Бабчук, С. М. Спеціалізована експертна комп'ютерна система ідентифікації кадмію / С. М. Бабчук, Л. Р. Бабчук // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №2/10(62). – С. 18-20.  
 11. Бабчук, С. М. Синтез бази знань “спеціалізовані комп'ютерні мережі” для об'єктів нафтогазового комплексу / С. М. Бабчук // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – №3/2(69). – С. 14-18.  
 12. Ping, L. Ethernet/IP Analysis [Text] / Journal of Yangtze University. – 2010. – Vol. 7, № 1. – P. 254-255.  
 13. Технический обзор “FOUNDATION fieldbus”. Fieldbus Foundation, Остин (Техас, США). – 1998. – 31 с.  
 14. Гупта А., Каро Р. FOUNDATION FIELDBUS или PROFIBUS PA: выбор промышленной сети для автоматизации технологических процессов. / СТА. , № 3. – 1999. – с. 16-20.

#### References

1. Babchuk, S. M. Vyznachennya napryamkiv modernizaciyi isnuuyuchykh avtomatyzovanykh system upravlinnya tekhnologichnymy procesamy, yaki rozmishheni u vybuxonebezpechnykh zonax / S.M. Babchuk // Mizhnarodnyj nauko-tekhnichnyj zhurnal “Vymiryuvalna ta obchyslyuvalna tekhnika v tekhnologichnykh procesax”. – 2014. – #2. – S. 103-107.
2. Babchuk, S. M. Vybir specializovanoi kompyuternoyi merezhi dlya system avtomatyzaciyi u vybuxobezpechnykh zonax promyslovykh pidpryyemstv. // Mizhnarodnyj nauko-tekhnichnyj zhurnal “Vymiryuvalna ta obchyslyuvalna tekhnika v tekhnologichnykh procesax”. – 2015. – #1. – S. 127-132.
3. Guochen, A. Design of Intelligent Transmitter Based on HART Protocol [Text] / A. Guochen, M. Zhiyong, M. Hongtao, S. Bingdong // Intelligent Computation Technology and Automation. – 2010. – Vol. 2. – P. 40-43.
4. Babchuk, S. M. Mikroprocesorna systema upravlinnya procesom burinnya na bazi promyslovyoi kompyuternoyi merezhi / S. M. Babchuk, O. I. Ivankevych // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovix tekhnologij. – 2008. – #4/3 (34). – S. 15-17.
5. Cavalieri, S. Definition of a fault recovery protocol compliant with Interbus-S standard [Text] / S. Cavalieri // Industrial Electronics. – 2003. – P. 821-823.
6. Babchuk, S. M. Klyasyfikaciya promyslovykh kompyuternykh merezh / S. M. Babchuk // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovix tekhnologij. – 2009. – #4/2(40). – S. 49-51.
7. Babchuk S.M. Model kontrolyu energetychnykh parametriv dyzel'nogo pryvodu rotora burovykh ustanovok // Naukovyj visnyk Ivano-Frankivskogo tekhnichnogo universytetu nafty i gazu. – 2002. – #1. S.60-63.
8. Zhang, L. Research of EtherNet/IP and development of its network node [Text] / L. Zhang, N. Xie // Consumer Electronics, Communications and Networks. – 2012. – P. 486-489.
9. Babchuk, S. M. Kontrol vmistu kadmiyu v posudi komp'yuternoyi systemoyu [Tekst] / S. M. Babchuk, L. R. Babchuk // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovix tekhnologij. – 2012. – # 6/2(60). – S. 14-17.
10. Babchuk, S. M. Specializovana ekspertna kompyuterna systema identyfikaciyi kadmiyu / S. M. Babchuk, L. R. Babchuk // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovix tekhnologij. – 2013. – #2/10(62). – S. 18-20.
11. Babchuk, S. M. Syntez bazy znan “specializovani kompyuterni merezhi” dlya obyektiv naftogazovogo kompleksu / S. M. Babchuk // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovix tekhnologij. – 2014. – #3/2(69). – S. 14-18.
12. Ping, L. Ethernet/IP Analysis [Text] / Journal of Yangtze University. – 2010. – Vol. 7, № 1. – P. 254-255.
13. Texnycheskij obzor “FOUNDATION fieldbus”. Fieldbus Foundation, Ostyn (Texas, SShA). – 1998. – 31 с.
14. Gupta A., Karo R. FOUNDATION FIELDBUS uly PROFIBUS PA: viber promishlennoj sety dlya avtomatyzacyyi tekhnologicheskyykh processov. / СТА. , # 3. – 1999. – с. 16-20.

Рецензія/Peer review : 5.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2015 р.

Рецензент:

УДК 621.7

С.В. БАБАК

ДП «Науково-технічний центр новітніх технологій НАН України», м. Київ

## ДИСТАНЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ ДОВКІЛЛЯ ОБ'ЄКТІВ ЕНЕРГЕТИКИ

*Розглянуто методи та засоби дистанційних досліджень навколишнього середовища об'єктів енергетики на базі безпілотних авіаційних комплексів і їх основні завдання. Пропонується використання мобільних комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем для вирішення задач автоматичного дистанційного контролю довкілля АЕС та ТЕС.*

*Ключові слова: дистанційний контроль довкілля, безпілотний авіаційний комплекс, моніторинг, інформаційно-вимірювальна система.*

S. BABAK

SE “Scientific and technical center of emerging technologies of the NAS of Ukraine”, Kyiv

### ENERGY OBJECTS ENVIRONMENT REMOTE CONTROL

*Abstract. Article looks at methods and techniques of energy objects environment remote researches and their main objectives. It is proposed to use computerized information-measurement systems on a basis of unmanned aerial complexes for solution of nuclear power plants and thermal power plants environment automatic remote control objective.*

*Key words: environment remote control, unmanned aerial complex, monitoring, information-measurement system.*

#### Постановка проблеми

АЕС, ТЕС та ряд інших підприємств енергетики відносяться до кола критично важливих та потенційно небезпечних об'єктів. Виконання міжнародних і державних програм по захисту навколишнього

середовища в районах розташування потенційно екологічно небезпечних виробництв, в тому числі і об'єктів енергетики, вимагає ведення постійного моніторингу довкілля [1-3]. Сучасний стан вирішення проблем контролю довкілля в Україні з різних причин не можна вважати задовільним. Проблематика досліджень навколишнього середовища має значне коло напрямів, кожен з яких характеризується відповідними особливостями та специфікою [2]. Найбільшого розвитку набув науково-технічний напрям досліджень довкілля об'єктів енергетики, в першу чергу АЕС та ТЕС. Цей напрям є пріоритетним в Україні: в його рамках сформовані державні програми, виконуються актуальні і важливі дослідження [1,2,6]. Реальний стан технічного обладнання об'єктів енергетики, які в основному відпрацювали свій технічний ресурс, вимагає створення нових систем моніторингу для дистанційного контролю довкілля. Вирішення пов'язаних з цим напрямів досліджень потребує використання сучасних досягнень науки і техніки, новітніх інформаційно-вимірювальних технологій, а їх ефективність залежить від розробки і практичного використання апаратно-програмних вимірювальних комплексів та систем.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз методів та засобів моніторингу навколишнього середовища об'єктів енергетики [1-4,6] свідчить про необхідність пошуку нових ефективних технологій дистанційного вимірювання характеристик довкілля з використанням сучасних інформаційних технологій, що дають можливість вирішувати задачі контролю, діагностики та прогнозу. В сучасних умовах експлуатації об'єктів енергетики України актуальним є забезпечення постійного контролю характеристик довкілля АЕС і ТЕС, особливо в важкодоступних місцях та за умов техногенної небезпеки. Актуальним залишається контроль радіаційної обстановки в Чорнобильській зоні та навколо інших АЕС [1,2].

**Метою статті** є аналіз перспективних напрямів створення комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем на базі безпілотних авіаційних комплексів.

### Результати досліджень

В зоні розташування АЕС або ТЕС (рис.1) за допомогою стаціонарних та пересувних екологічних лабораторій здійснюється періодичний забір проб повітря, води та ґрунту з метою контролю їх забруднення, забруднення поверхневих і підземних вод, дощових стоків, снігового покриву, донних відкладень водоєм, радіаційної обстановки, метеопараметрів, газопо-димових викидів, промислових стоків і скидів, радіаційного фону, стану пожежної безпеки тощо.

Вся інформація збирається з розгалуженої мережі екологічних постів, лабораторій та різних технологічних сегментів АЕС або ТЕС, передається за допомогою проводної чи безпроводної системи передачі даних і обробляється в інформаційно-аналітичному центрі, який забезпечує інформаційну підтримку управлінських рішень, енергозберігаючих режимів експлуатації об'єктів енергетики, прогнозування та аварійне реагування на нештатні ситуації.

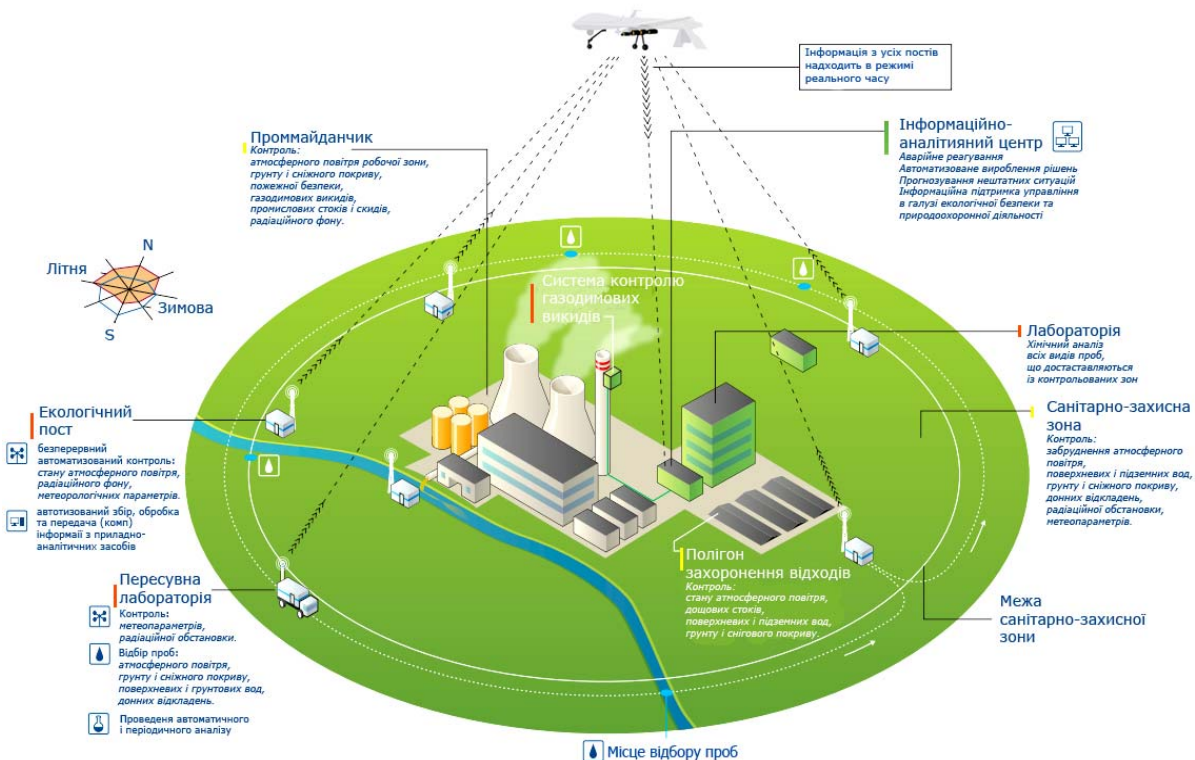


Рис. 1. Узагальнена схема функціонування інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу на АЕС або ТЕС

В [3,4,6] розглянуто системи, побудовані на базі стаціонарних наземних пунктів контролю. Розташування останніх здійснюється з врахуванням екологічних особливостей місцевості, типу ландшафту,

метеорологічних умов, характеристики джерел потенційних загроз у сукупності з економічними та фізико-технічними чинниками. Розробка та експлуатація таких систем не завжди виправдані з різних причин. В першу чергу – це обмежені можливості доступу до певних пунктів спостереження (наприклад, в умовах заболоченої місцевості, розливу річок, наявності скальних масивів тощо), необхідність швидкого переналагоджування на той чи інший вид викидів чи випромінювань, необхідність забезпечити персонал від шкідливого впливу контрольованих об'єктів. Адже завжди існує кінцева ймовірність переходу об'єктів контролю у нештатні режими роботи з важкопрогнозованими наслідками аварій та інцидентів.

Процедури моніторингу реалізуються за допомогою різних технічних засобів. В автоматичному режимі такий моніторинг доцільно виконувати в атмосфері, адже середовищем існування і поширення різних фізичних полів, які характеризують поточний стан об'єктів атомної енергетики є атмосфера. Крім того збір вимірювальної інформації у повітряному середовищі в околі цих об'єктів можна здійснювати на значних ділянках (від одиниць до сотень кілометрів), дистанційно (тобто без фізичного контакту з об'єктом спостереження), в автоматичному режимі і практично безперервно в часі. Такий контроль може здійснюватись не тільки в штатних режимах, але й на початкових етапах розвитку загроз різного характеру та під час ліквідації аварій на АЕС, що становлять потенційну загрозу здоров'ю та життю людини.

Один з перспективних напрямів розвитку систем дистанційного моніторингу пов'язаний з використанням систем авіаційного базування на основі безпілотних авіаційних комплексів (БАК) [1,2]. За просторовим масштабом задач діагностики навколишнього середовища комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи (KIVC) на основі БАК можуть використовуватись у разі техногенних аварій локального та мезомасштабу. В таких системах БАК виконують роль транспортування засобів вимірювання у повітряному середовищі, так і для здійснення відеонагляду за різними об'єктами природного та штучного походження. Такі системи вперше були застосовані для контролю радіаційного фону та відеонагляду в районі Чорнобильської АЕС та АЕС Фукусіма [1,2].

Оскільки аварійні ситуації виникають несподівано, то доцільно в складі таких систем використовувати безпілотні літальні апарати (БПЛА), що не вимагають для старту і посадки підготовленої площадки, мають мінімальний час розгортання та помірні техніко-економічні показники. БПЛА повинен мати можливість дистанційного керування, а також виконувати політ в автоматичному режимі (наприклад, під управлінням автопілоту). З урахуванням корисного навантаження (відеоканал фронтального огляду, автопілот, пристрій відбору проб, вимірювач радіаційного фону тощо) злітна вага повинна становити 2-4 кг. Прийнятним для задоволення таких вимог є БПЛА літакового типу зі штовхаючим гвинтом на електричній тязі. Не зупиняючись на широкому спектрі подібних БПЛА, що випускаються в багатьох країнах, відзначимо, що науково-технічна складність їх створення відсутня. Однак компоновка під різні корисні навантаження приводить до відсутності універсального БПЛА і необхідності в кожному окремому випадку адаптувати їх конструкцію до конкретної задачі.

Зупинимось ще на одній характерній особливості таких систем. Побудова KIVC на основі БАК дозволяє здійснити через використання GPS прив'язку результатів вимірювань у будь-якій точці підконтрольного інформаційного простору до їх географічних координат, тобто узгодити дані вимірювань з геопросторовими даними – інформацією, яка ідентифікує географічне місце розташування і властивості природних або штучно створених об'єктів та їх межі на Землі [5]. Така прив'язка дозволяє використовувати дані, які отримуються в геоінформаційних системах (ГІС), тобто в системах з просторовою прив'язкою, в яких географічна інформація розглядається як функція, в числі аргументів якої є прив'язані до Землі просторові координати та висота.

Комплекс або KIVC контролю довікля розроблений як цілісна система, що складається з низки підсистем (рис. 2): наземного пункту управління, де розташоване робоче місце оператора і програмні додатки, що забезпечують контроль оператором роботи комплексу; БПЛА, який несе апаратуру корисного навантаження різного типу; системи зв'язку, яка забезпечує передачу команд управління зі станції управління на борт БПЛА, а також передачу корисної інформації з борту БПЛА на наземну станцію управління в режимі реального часу; обладнання у вигляді сенсорів та додаткових пристроїв, що забезпечують програмно-апаратну реалізацію мобільних KIVC. БПЛА мають велику ступінь автоматизації штучного інтелекту.

Забезпечується інтерактивний режим управління параметрами польоту та збору вимірювальної інформації, накопичення і передачу даних різноманітних сенсорів KIVC для отримання оптичних або тепловізійних зображень місцевості, разом з первинною інформацією про стан БПЛА – висоту, курс, швидкість, крен і т. д. Функціональна орієнтованість БПЛА обумовила необхідність удосконалень побудови авіоніки для з використанням мікромеханічних елементів і систем. Бортові контролери (процесори) і лінії зв'язку скомплексовані як ядро системи, що забезпечує основні (критичні) лінії зв'язку між бортовими сенсорами і наземною апаратурою, а також системами управління двигуном. Багатофункціональні можливості, потреба в яких визначається обмеженнями ваги і потужності, досягнуті високоінтегрованою конструкцією з фізичними багатофункціональними компонентами. Наприклад, крило також служить як антена або апертура сенсора і т. д. Для підвищення точності визначення вектора стану, разом з фільтрацією Калмана розроблено алгоритм нейромережевої апроксимації довільної щільності розподілу ймовірності. Нейромережі можуть навчатися на реальних вимірюваннях, а не на моделі похибок, що дозволило обійти невизначеності моделі. Виконання вищезазначених функцій забезпечено використанням змінного корисного

навантаження модульної побудови, яке встановлюється на внутрішній та/або на зовнішній підвісках БПЛА. По суті БПЛА – це авіаційна платформа для транспортування корисного навантаження, яке може включати: сенсори збору інформації, у т.ч.: фото-, теле-, тепловізійні та мультиспектральні камери (ЕО/ІР); лазерні сканери та далекоміри (LRF/LD); РЛС із синтезованою апертурою (SAR); обладнання для ретрансляції зв'язку; багатофункціональну комп'ютеризовану інформаційно-вимірювальну систему тощо. При визначенні (виборі) варіантів компоновки модулів корисного навантаження враховуються завдання контролю, технічні характеристики сенсорів, їх переваги і недоліки, а також умови виконання польотних, контрольно-вимірювальних або інших завдань за призначенням (погода, місцевість, час доби і пора року та інші фактори).

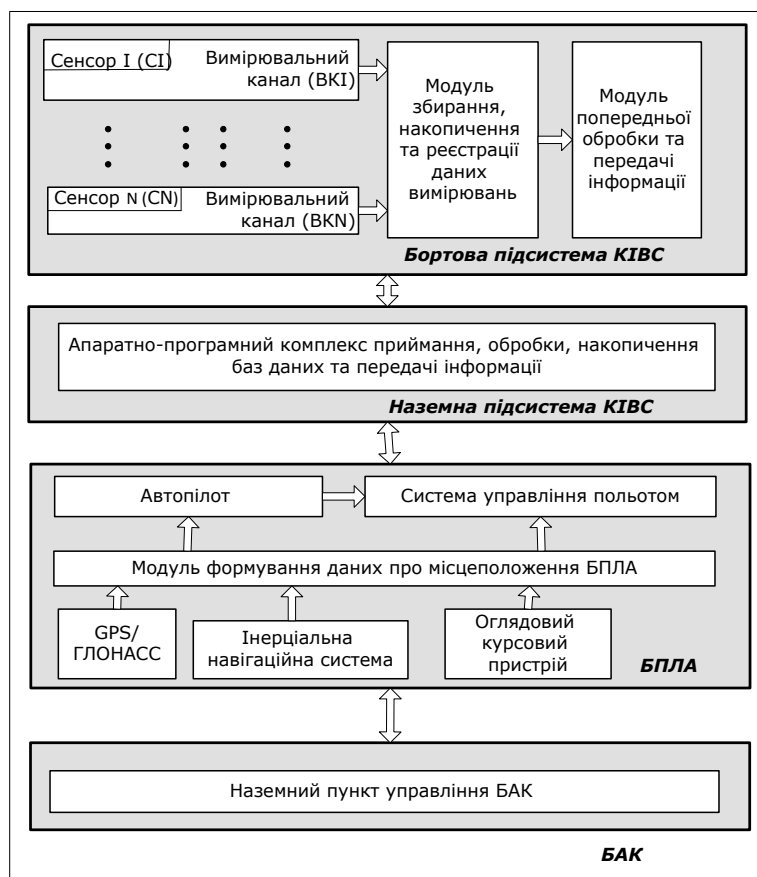


Рис. 2. Узагальнена структура КІВС на базі БАК

Експериментальні дослідження були проведені з використанням БПЛА, фото та характеристики якого наведено на рис. 3.



а)

Рис.3. Розроблений БПЛА: а – з ФАП та КІВС, б – технічні характеристики

Технічні характеристики розробленого БПЛА:

Злітна маса, кг	3,5
Маса планера, кг	1,5
Розмах крила, м	1,8
Довжина, м	1,6
Маса корисного навантаження, кг	≤ 2
Час польоту з вантажем 1 кг, хв.	≤ 60
Швидкість польоту, км/год	40-150
Практична стеля, м	≤ 2 000
Час підготовки до польоту, хв.	≤ 10

б)

БПЛА виконаний за літаковою схемою зі штовхаючим гвинтом має місткий фюзеляж об'ємом 2 дм<sup>3</sup>. Енергозабезпечення здійснюється від батареї ZIPPYFlightmax 5000 mAh 4S1P 30C. Використаний безколекторний електродвигун TurnigyAerodriveSK3 - 3536-1400kvBrushlessOutrunnerMotor.

Наприклад, для проведення експериментів по контролю потужності експозиційної дози (ПЕД)

використані сенсори Гейгера-Мюллера, які є пропорційними лічильниками часток іонізуючого випромінювання. Враховуючи, що події реєстрації мають випадковий за часом характер, особливо при низькій ПЕД, для згладжування результатів вимірювань використана математична фільтрація методом лінійно-зваженої ковзної середньої. GPS / ГЛОНАСС навігаційний модуль визначає географічні координати. Плата модуля KIBS (рис. 4) укладена в екрануючий корпус, час вимірювання можна встановлювати від 1 до 30 сек. В процесі вимірювання використовувався метод лінійно-зваженої ковзної середньої, а результат кожного такту знімання інформації є середнім значенням ПЕД на відрітку шляху  $S = t_{\text{вим}} \times V_0$  з урахуванням попередніх  $t$  результатів ( $t_{\text{вим}}$  – час вимірювання,  $V_0$  – швидкість руху БПЛА). Розроблена система відкалібрована на установці УПД-інтер в Інституті проблем безпеки АЕС НАН України. Калібрування проведене в діапазоні ПЕД від 1 мкР/год до 50 мР/год за  $^{137}\text{Cs}$ . Результати візуалізації експериментальних даних вимірювань потужності експозиційної дози наведені на рис. 5. Отримані значення величини ПЕД склали 0,05...0,11 мкЗв/год, що значно менше гранично допустимих величин. На рис. 5 представлені експериментальні дані вимірювань ПЕД у 3D-форматі. Вимірювання ПЕД проводились на висоті 100м (у південно-західному напрямку від Чорнобильської АЕС на межі зони відчуження в районі с. Потоки).

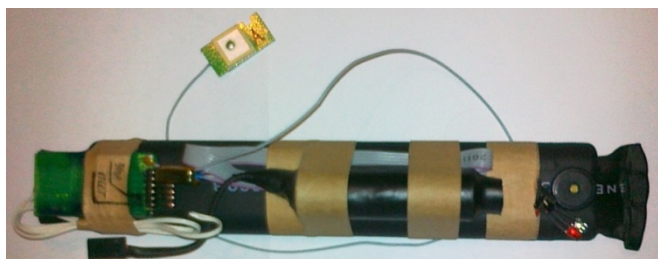


Рис. 4. Фото модуля системи дистанційного контролю потужності експозиційної дози

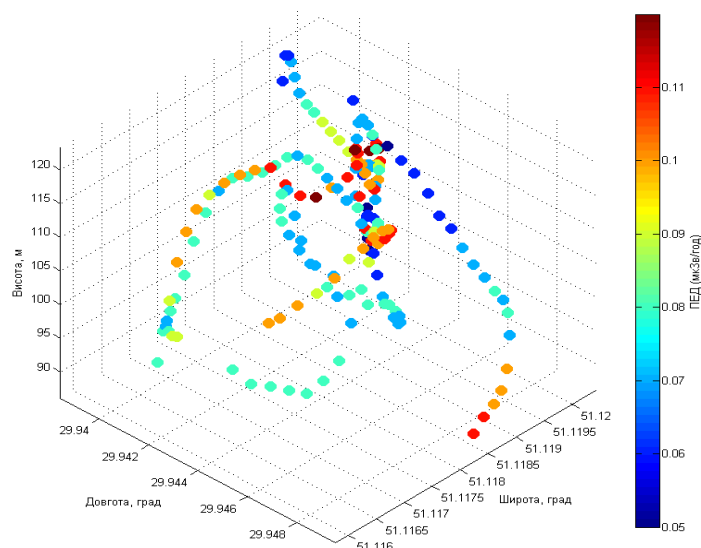


Рис. 5. 3D-графічне представлення даних вимірювань ПЕД

### Висновки

Створення нового класу мобільних систем дистанційного контролю довкілля на базі БАК суттєво розширює можливості отримання важливої вимірюваної інформації про явища та процеси, які відбуваються в атмосфері. Особливо важлива роль таких систем при аваріях, катастрофах та інших нештатних ситуаціях.

### Література

1. Бабак В.П. Беспилотные авиационные комплексы как средство радиационного мониторинга АЭС и окружающей среды / В.П. Бабак, В.А. Канченко, А.А. Ключников, В.А. Краснов, Н.Л. Чепур // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. - 2012. - Вип.19.- С. 60-69.
2. Статистическая диагностика электротехнического оборудования: Монография / С.В. Бабак, М.В. Мыслович, Р.М. Сысак. – К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2015. – 456 с.
3. Вартаков А.З. Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг: [учебник] / А.З. Вартаков, А.Д. Рубан, В.Л. Шкуратник. – М.: Изд-во МГГУ: Горная книга, 2009. – 641 с.
4. Claudi, A. Practical experiences and performance of monitoring systems / A. Claudi, S. Berlijn, P. Mohaupt // Cigre Session 2008, report D1-107.
5. Бурачек, В.Г. Основы геоинформационных систем / В.Г. Бурачек, О.О. Железняк, В.І. Зацерковний. -



Ніжин, ТОВ «Аспект-Поліграф», 2011. – 512 с.

6. Соколов Э.М. Автоматизированная система экологического мониторинга атмосферы при выбросах вредных веществ / Э.М. Соколов, В.М. Панарин, А.А. Зуйкова, А.В. Бизикин // Информационные технологии. - 2008. - № 4. - С. 58-61.

#### References

1. Babak V.P., Kanchenko V.A., Kluchnikov A.A., Krasnov V.A., Chepur N.L. Bepilotnye aviazionnyekompleksy kak sredstvo radiazionnogo monitoring AES i okrugayutchej sredy// Problemy bespeky atomnykh elektrostanzij i Tchornobylja. - 2012. - Vyp.19.- S. 60-69.
2. Babak V.P., Myslovich M.V., Sysak R.M. Statisticheskaja diagnostika elektrotehnicheskogo oborudovaniya: Monografija. – K.: In-t elektrodinamiki NAN Ukrainy, 2015. – 456 s.
3. Vartanov A.S., Ruban A.D., Schkuratnik V.L. Metody i pribory kontrolja okrugajutchej sredy i ekologicheskij monitoring. – M.: Isd-vo MGGU: Gornajakniga, 2009. – 641 s.
4. Claudi, A. Practicl experiences and performance of monitoring systems / A. Claudi, S. Berlijn, P. Mohaupt // Cigre Session 2008, report D1-107.
5. Burachek V.G., Gelesnjak O.O., Sazerkovnyj V.I. Osnovygeoinformazionnychsystem. - Nigyn, TOV «Aspekt-Poligraf», 2011. – 512 s.
6. Sokolov E.M., Panarin V.M., Sujkova A.A., Bisikin A.V. Avtomatisirovannaja sistema ekologicheskogo monitoringa atmosfery pri vybrosach vrednykh vetchestv// Informazionnye technologii. - 2008. - № 4. -S. 58-61.

Рецензія/Peer review : 23.11.2015 р.

Надрукована/Printed :15.12.2015 р.

Рецензент: д-р техн. наук, проф.Ю.В. Куц

**УДК 621.3.07**

**А.В. ЯСЬКІВ**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕМАГНІЧЕННЯ МАГНІТОМ'ЯКИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИСОКОЮ КРУТИЗНОЮ ПЕТЛІ ГІСТЕРЕЗИСУ**

*В роботі приведено результати математичного та комп'ютерного імітаційного моделювання осердя магнітного ключа з матеріалу 84КХСР, використовуючи математичні моделі магнітного гістерезису Джілса-Атертона та Джона Чана. Досліджено, що в зв'язку з обмеженнями цих моделей не можливо з достатньою точністю змодельовати процеси переманічнення осердя. Виявлено потребу в розробці нової математичної моделі, що дозволяла б моделювати роботу магнітного ключа безпосередньо в середовищі CAD-програми.*

*Ключові слова: математична модель, високочастотний магнітний підсилювач, CAD-програма, модель магнітного гістерезису Джілса-Атертона, модель магнітного гістерезису Джона Чана*

**A.V. YASKIV**

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

## **MATHEMATICAL MODELING OF REMAGNETIZATION PROCESSES OF SOFT MAGNETIC MATERIALS WITH HIGH STEEPNESS OF HYSTERESIS LOOP**

*Abstract – The aim of the research is to explore the possibility of using existing software means for modeling power supplies based on magnetic switches in a single CAD-programme.*

*Cobalt-based soft magnetic core was modeled using Jiles-Atherton and John Chan magnetic hysteresis models in PSpice and LTspice IV respectfully. Models' limitations proved to be significant, and they cannot be used to model the remagnetization processes of magnetic switch accurately. Thus there is a need for a new mathematical model which would allow magnetic switch computer simulation in CAD-programme.*

*An equivalent circuit approach is suggested as a possible way for creation of such model.*

*Keywords: mathematical model, high frequency magnetic amplifier, CAD-programme, Jiles-Atherton model of magnetic hysteresis, John Chan model of magnetic hysteresis*

### **Вступ**

Забезпечення електроживлення радіоелектронної апаратури (РЕА) ґрунтується на принципах перетворення та регулювання параметрів електричної енергії. Зазвичай, у джерелах вторинного електроживлення (ДВЕЖ) комутаційну та регулюючу функції виконують напівпровідникові елементи. Однак, у випадках, коли необхідно реалізувати багатоканальні джерела електроживлення, забезпечити високий рівень експлуатаційних характеристик, низький рівень електромагнітних завад, як регулюючі елементи використовують високочастотні магнітні підсилювачі (ВМП) на основі сучасних магнітом'яких матеріалів з високою крутизною петлі гістерезису (коефіцієнт прямокутності  $k_n > 0.99$ ) – магнітні ключі (МК) [1,2].

Важливим етапом при розробці ДВЕЖ є комп'ютерне імітаційне моделювання. Воно здійснюється