

А. О. Зуєв, Д. Г. Караман

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

## СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

Сучасні системи з протяжною та розгалуженою інфраструктурою ліній електропередачі та великим різноманіттям електроенергетичних об'єктів потребують постійного моніторингу їх технічного стану для своєчасного виявлення порушень, які можуть призвести до серйозних аварій та техногенних катастроф. З ростом протяжності та складності об'єктів, що підлягають моніторингу, значно зростають складність та затрати заходів з їх профілактики та технічного обслуговування. В статті проведено аналіз існуючих та перспективних рішень для моніторингу об'єктів електроенергетичних мереж, серед яких окремо розглянуті системи з використанням безпілотних літальних апаратів. Сформульовані основні задачі з вирішення проблем для систем моніторингу розподілених промислових та електроенергетичних об'єктів на базі БПЛА. Проведена розробка базової платформи для функціональної одиниці БПЛА, побудована модель комунікації з наземною станцією управління і обробки даних та розглянуті питання забезпечення захисту прикладних даних і інформаційного обміну.

**Ключові слова:** об'єкти електроенергетичної інфраструктури, обслуговування, технічний стан, система автоматизованого моніторингу, безпілотні літальні апарати.

### Вступ

**Проблеми моніторингу об'єктів електроенергетичного сектору.** У більшості розвинених країн з розгалуженою електроенергетичною інфраструктурою проводяться заходи з моніторингу та оцінки технічного стану електромереж і електроенергетичної інфраструктури. Вони дозволяють локалізувати проблемні ділянки ліній електропередачі (ЛЕП), опор і фундаментів інженерно-технічних споруд, ступінь натягу проводів і грозозахисних тросів, що в свою чергу дозволяє визначити пропускну здатність лінії, допустимі величини струму і режими її експлуатації. Після обстеження проводяться заходи з технічного обслуговування та підвищення пропускну здатності лінії. Велика розгалуженість і широка різноманітність об'єктів електроенергетичної інфраструктури створюють суттєві труднощі для своєчасного виявлення порушень технічного стану мереж та призводять до суттєвих витрат електроенергетичних компаній на забезпечення та проведення заходів з профілактики, технічного обслуговування та підтримки мереж ЛЕП у належному технічному стані.

**Аналіз існуючих та перспективних рішень для моніторингу об'єктів електроенергетичних мереж.** Останнім часом для реєстрації та моніторингу об'єктів, розподілених на великій площі (картографія, сільське та лісове господарство, великі промислові об'єкти та мережі) поряд із традиційними методами почали застосовувати методи автоматизованого візуального, лазерного [1] та тепловізійного [2] сканування за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [3]. Світовий досвід [4-7], показує, що такі проекти мають високу інвестиційну та практичну цінність, будучи реалізованими, вони можуть істотно підвищити надійність і безпеку експлуатації ЛЕП, і водночас суттєво знизити затрати на заходи з технічного обслуговування. Реєстрація стану об'єктів електроенергетичної інфраструктури виконується за допомогою спеціальної апаратури: фотографічної, оптико-електронної або радіоелектронної. У

більшості випадків реєструються і аналізуються не поодинокі знімки, а їх серії або безперервні послідовності (відеопотік), які можуть відрізнитися ракурсом, оглядовістю, часом зйомки і спектральним діапазоном, завдяки чому забезпечується більш детальне і точне дослідження об'єкта. Також можливе вимірювання напруженості електричного (ЕП) і магнітного (МП) полів уздовж траси польоту [8-9].

При вирішенні завдання моніторингу виникає необхідність отримання, зберігання і подальшої передачі і обробки значного обсягу інформації, що знімається з різноманітних сенсорів.

Так само слід зазначити і проблеми, що виникають при використанні БПЛА. Серед найбільш істотних можна виділити:

- забезпечення передачі інформації по каналах зв'язку між БПЛА і пунктом управління з необхідною пропускну спроможністю і без спотворень;
- якісне розпізнавання об'єктів по зареєстрованій інформації;
- забезпечення максимальної енергоефективності та автономності;
- забезпечення належної безпеки і безаварійності.

Важливою проблемою, яка виникає при використанні БПЛА для моніторингу ЛЕП і енергетичних об'єктів, є забезпечення безпечного, стійкого, двостороннього зв'язку з пунктом управління. Від якості і безперервності комунікаційних зв'язків багато в чому залежить оперативність і результативність моніторингу. Якість і стійкість зв'язку з пунктом управління визначається методами завадостійкого кодування сигналу, що передається, а також вибраними методами резервування каналів і засобів зв'язку. Останнім часом стає актуальним питання захисту обміну даними з БПЛА від стороннього втручання [10].

**Мета статті.** Згідно з проведеним аналізом щодо використання БПЛА для моніторингу об'єктів електроенергетичної інфраструктури основним завданням на шляху побудови ефективної системи моніторингу є вирішення основних проблем з отриманням, зберіганням первинною обробкою і надій-

ною передачею великих обсягів інформації про об'єкт моніторингу з одного боку, та забезпечення належного рівня безпеки, надійності та живучості розробленої платформи моніторингу на базі безпілотних літальних апаратів з другого боку, у тому числі, організації надійних і стійких каналів зв'язку між БПЛА та пунктом управління із захистом від завад та стороннього втручання.

## Розробка базової платформи для функціональної одиниці БПЛА

При монтуванні сенсорів на БПЛА важливу роль відіграє ряд факторів, які можуть не враховуватися або не чинити істотного впливу при створенні класичних наземних систем автоматизованого збору і обробки сигналів. До таких факторів слід віднести: масогабаритні характеристики, споживану потужність, високий рівень перешкод для деяких типів реєстрованих сигналів, а також організацію каналів зв'язку сенсору і пристрою збору і обробки сигналів.

Масогабаритні характеристики базової платформи є визначальними, оскільки вантажопідйомність БПЛА, особливо для невеликих мультіроторних систем, як правило, не перевищує 1 кг, і маса корисного навантаження істотно впливає на автономність і маневреність таких апаратів. Таким чином, вага сенсорів та обчислювальної системи, що їх обслуговує, не повинна перевищувати вказаний ліміт, а, за можливості, повинна бути якомога меншою.

Високий рівень перешкод, становить серйозну проблему при реєстрації ряду сигналів (наприклад, електричного і магнітного полів), а також при передачі аналогових сигналів (наприклад, з бортових відео камер). Основними джерелами перешкод є двигуни БПЛА, а також сам об'єкт моніторингу – ЛЕП. Це ускладнює виділення корисного сигналу, а також негативно позначається на роботі частини сенсорів навігаційної системи (магнітного компаса і системи GPS). Вимагає винесення чутливих сенсорів за межі дії перешкоди, наприклад на спеціальних щоглах, що в свою чергу ускладнює організацію передачі даних і забезпечення живлення сенсорів. При цьому перешкода виникає як у каналах передачі даних, так і по колам живлення.

Традиційний підхід до отримання інформації полягає в перетворенні сигналів в цифрову форму і подальшої їх передачі по виділеному каналу зв'язку за допомогою будь-якого стандартного інтерфейсу і протоколу. Недоліком такого підходу є необхідність об'єднання сигналів надходять з сенсорів в одному вузлі (зазвичай використовується мікроконтролер з необхідною кількістю аналогових входів). При відмові цього вузла або вихідного каналу зв'язку, вся система отримання даних буде непрацездатна. Доцільно використовувати розподілену систему збору інформації, в якій використовуються окремі модулі на кожну групу сенсорів, при цьому передача цифрового сигналу проводиться по радіоканалу (наприклад, за стандартом Wi-Fi), що дозволяє створити систему, яка стійка до відмови вузлів-агрегаторів даних, і при цьому не вимагає прокладки додаткових ліній передачі даних або наявності гальванічної розв'язки.

Зазвичай канали зв'язку на базі Wi-Fi пропонуються для організації передачі телеметрії від БПЛА на наземну станцію, але таке рішення відрізняється незначною дистанцією передачі (кілька сотень метрів), низькою надійністю і великою затримкою передачі при великій кількості вузлів Wi-Fi, обумовленої малою кількістю каналів, що використовуються. Все перераховане робить неможливим практичне використання таких систем для задач моніторингу протяжних об'єктів. При використанні ж бездротової передачі для обміну даними на борту БПЛА, дані недоліки несуттєві, так як відстань між вузлами не перевищує десятків сантиметрів, що дозволяє використовувати приймально-передавачі в режимі зниженої потужності. При русі БПЛА згідно з польотним завданням це дозволяє мінімізувати вплив інших пристроїв працюють за стандартом Wi-Fi, так як вони будуть "невидимі" для бортової мережі, і як слід не будуть перетинатися по робочим каналам.

Організація передачі даних від сенсору до вузла збору інформації (ВЗІ), і далі – до бортового комп'ютера і наземної диспетчерської станції, вимагає організації каналу зв'язку із необхідною пропускною спроможністю, а також забезпечення надійного живлення всіх систем. Основними обмеженнями є мала кількість вхідних портів бортового комп'ютера, а також необхідність прокладки дротових ліній на борту БПЛА, що в свою чергу веде до збільшення маси, зменшення надійності, а також підвищення впливу перешкод. Для вирішення вказаних вище проблем, пропонується використовувати наступну схему організації корисного навантаження на борту БПЛА (рис. 1).

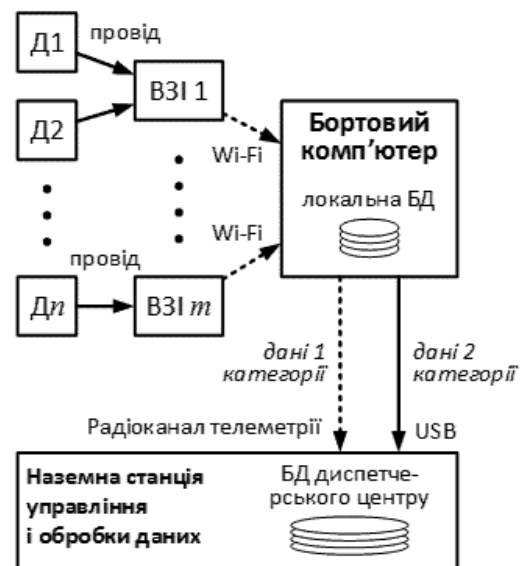


Рис. 1. Ієрархічна система збору інформації з бортових сенсорів Д1-Дn

1) система збору інформації має ієрархічну структуру, що дозволяє легко змінювати її конфігурацію, і підвищує відмовостійкість у разі відмови якогось з вузлів;

2) використання бездротової мережі для з'єднання між вузлами збору інформації (УСІ) і бортовим комп'ютером, що дозволяє скоротити кількість

з'єднань бортової мережі і підвищує автономність і відмовостійкість окремих модулів системи. При цьому кількість сенсорів, що можуть бути підключені до бортового комп'ютера, необмежена;

3) бортовий комп'ютер має містити спеціалізований накопичувач достатньої ємності, на якому фіксуються всі дані, що надходять з усіх сенсорів;

4) в якості бортового комп'ютера може бути використаний будь-який комерційний мікрокомп'ютер, що значно знижує собівартість системи.

Прикладне програмне забезпечення бортового комп'ютера розділяє дані на дві категорії: оперативно важливі (перша категорія) і оперативно малозначні (друга категорія). Оперативно важливі дані збираються, обробляються і негайно передаються до диспетчерського центру в процесі польоту (наскільки дозволяє канал зв'язку), а малозначні данні стискаються, зашифровуються та зберігаються на бортовому накопичувачі – після закінчення польотного завдання і приземлення вони передаються до наземної станції обробки даних за допомогою дротового інтерфейсу зв'язку з широкою пропускнуою здатністю.

Таким чином, синтезована система є розподіленою системою, вузли якої працюють на незалежних мікрокомп'ютерах, побудованою на базі клієнт-серверної архітектури. Взаємодія вузлів є асинхронною. Така система умовно може бути розділена на наступні логічні рівні: 1) збір інформації; 2) обробка та зберігання інформації; 3) доступ до даних; 4) база даних; 5) користувацький інтерфейс.

Перші два рівня реалізуються на ВЗІ і бортовому комп'ютері БПЛА, інші рівні – на обладнанні наземної і диспетчерської станції. Розподілена система має низку ключових переваг:

1) масштабованість і низька вартість – більшість модулів ВЗІ автономні, працюють за єдиним протоколом і легко замінюються;

2) надійність – при відмові одного ВЗІ система продовжить роботу, збій в роботі ВЗІ не призводить до довготривалої втрати працездатності, через певний час модуль буде перезавантажений з використанням апаратного таймера і повернеться до нормального функціонування;

3) діагностика – протоколи обміну інформацією дозволяють проводити дистанційну перевірку модулів, як при запуску системи, так і в процесі її функціонування;

4) фізичний розподіл вузлів – усі ВЗІ фізично відокремлені один від одного (можливе розділення і за джерелом живлення), що підвищує надійність роботи системи в цілому, так як при виході одного ВЗІ з ладу не порушується працездатність сусідніх.

5) доступність – передача даних усередині системи ведеться асинхронно, на неї не впливає відмова або вихід з ладу інших ВЗІ.

Фактично кожен ВЗІ є незалежним сервісом, який управляє набором ресурсів і надає послуги користувачам: бортовому комп'ютеру БПЛА або наземній станції, які виступають в ролі клієнтів. Таким чином, синтезована система задовольняє вимогам, які висуваються до розподілених систем управління та збору інформації [11].

## Модель комунікації з наземною станцією управління і обробки даних

Політ БПЛА відбувається під контролем або безпосереднім управлінням оператора розташованого в наземному (або повітряному) пункті управління, з використанням двосторонніх каналів зв'язку, або за допомогою автопілота згідно з польотним завданням [3]. Застосування БПЛА в якості ключового елемента системи обумовлено наявністю ряду суттєвих переваг такого виду літальних апаратів: відсутність екіпажу, невелика вартість і низькі експлуатаційні витрати. Разом із значним прогресом у розвитку обчислювальної техніки, особливо її мініатюризації і енергоефективності, а також з розвитком і практичним застосуванням нових алгоритмів і методів застосування БПЛА дозволяє підвищити ефективність вирішення складних науково-практичних завдань, пов'язаних з логістикою, моніторингом, контролем та безпекою.

В процесі функціонування системи можуть бути застосовані наступні моделі передачі даних в бортовій мережі: синхронна, асинхронна і комбінована. У синхронній моделі будь-які дії вузла з передачі даних, починаються після отримання синхронізуючого пакета  $P_{sync}$ , який відправляє бортовий комп'ютер. Цей же пакет є джерелом адреси і порту призначення  $\{a_{dest}, p_{dest}\}$ , який відправляє бортовий комп'ютер. Цей же пакет є точкою відліку інтервалу синхронізації  $T_{sync}$  зв'язку з бортовим комп'ютером (зазвичай не перевищує 1 с) при підключенні до мережі, він ініціює відправку даних до відповідного вузла. При асинхронному обміні, вузли відправляють дані, на заздалегідь задану, або отриману на початку роботи пару адреси і порту  $\{a_{dest}, p_{dest}\}$ , не чекаючи пакетів синхронізації. Це дозволяє забезпечити мінімальний час доставки даних з сенсорів до бортового комп'ютера, але значним чином навантажує мережу. Тому найбільш оптимальним є використання комбінованої моделі передачі, коли частина даних передається синхронно, а частина, з найбільш швидкодіючих сенсорів – асинхронно. При використанні протоколу UDP через відсутність можливості встановлювати сесії з'єднання, необхідно якимось чином визначити працездатність вузлів (в тому числі і точки доступу). Для цього доцільно використовувати два критерії. Перший визначається затримкою між пакетами, які надходять з вузла  $t_d$ . Коли вона перевищує певний, заздалегідь встановлений в залежності від типу вузла, ліміт  $t_{max}$ , такий вузол вважається відключеним або непрацюючим. На практиці підібрати значення затримки  $t_{max}$  досить складно, оскільки воно залежить від типу і алгоритму функціонування вузла, а також стану каналу зв'язку. Але такий критерій можна використовувати як додатковий.

Більш надійним критерієм визначення працездатності вузла, є нумерація пакетів монотонно зростаючими (для кожного вузла  $n$ ) значенням  $f(n) \uparrow$ . При запуску або рестарті вузла, нумерація завжди починається з  $f(n) = 0$ . Що дозволяє визначити за номером пакету  $f_i(n)$ , що попередньо надійшов від вузла  $n$  і

був прийнятий на обробку, факт рестарту вузла або виникнення проблеми при обміні пакетами (втрата пакету), якщо номер наступного пакета  $j \leq i$ .

Для продовження функціонування системи, після рестарту вузла, необхідно провести його повторну синхронізацію: коли виявлено збій в нумерації пакетів, відправляється пакет  $P_{sync}$  з новим (збереженим раніше) номером пакета збільшеним на одиницю  $f_{i+1}(n)$ . Вузол, прийнявши  $P_{sync} : f_{n+1}(n)$ , змінює поточне значення свого внутрішнього лічильника номерів пакетів. Таким чином, буде відновлена монотонність передачі пакетів в мережі і ознака порушення синхронізації може бути знята.

При відключенні бортового комп'ютера, доцільно припинити обмін даними в мережі, щоб енергія бортового джерела живлення не витрачалася даремно на роботу трансмітерів вузлів. Для цього, перед завершенням роботи програмного забезпечення бортового комп'ютера, відправляється пакет  $P_{term}$  ініціює відключення передачі і видалення адреси і порту призначення з буферу для кожного вузла. Пакети  $P_{sync}$  і  $P_{term}$  відправляються як широкомовні – всім активним вузлам мережі.

### Захист прикладних даних і інформаційного обміну

Сучасні БПЛА і системи, які їх використовують, потребують забезпечення належного рівня кібербезпеки, оскільки вони виконують збір, зберігання і передачу критично важливої інформації про об'єкт моніторингу та його оточення з використанням обчислювальних засобів і мереж передачі даних загального призначення, що робить їх привабливим об'єктом для злоумисників.

Серед переліку цілей злоумисників можна виділити дві основні: захоплення контролю над управлінням БПЛА і перехоплення прикладних даних, які збирає БПЛА. Втручання в систему контролю управлінням БПЛА вимагає від злоумисника значних матеріальних і організаційних ресурсів, тоді як перехоплення прикладних даних може виявитися значно простішим і вигіднішим. Крім того, в останньому випадку потрібне залучення мінімального числа векторів атак. Згідно [10] існує три вектори атаки на системи, які використовують БПЛА:

- вплив на станцію управління БПЛА;
- вплив на канал телеметрії і передачі команд;
- вплив безпосередньо на сам БПЛА.

Для унеможливлення перехоплення або підміни пакетів з командами управління та прикладними даними доцільно застосувати методи криптографічного захисту даних з урахуванням специфіки функціонування бортових систем БПЛА і обмеженості доступних ресурсів на борту. Процеси шифрування вимагають істотних обчислювальних ресурсів, а обчислювальне навантаження на центральний процесор бортового комп'ютера зазвичай дуже високе: він практично повністю завантажений завданнями обробки і збереження інформації, що надходить від сенсорів.

Щоб знизити навантаження на центральний процесор можна обрати один з двох шляхів: значно спростити механізм криптографічного захисту, обрати більш прості алгоритми і протоколи, що очевидно є неприйнятним, або виділити для виконання криптографічних перетворень окремі обчислювальні ресурси [12]. Додавання у систему окремого криптопроцесору призводить до збільшення енергоспоживання, що, в свою чергу, призведе до зменшення польотного часу, та уповільнює процес обміну командами і даними з центром управління.

В рамках реалізації системи, було проведено дослідження референсної реалізації методу "Калина" [13], та реалізації за допомогою GPU бортового комп'ютера БПЛА. на мові HLSL, під керуванням API DirectX (DirectGraphics 11). Мікропрограма шифрування блоку містить 1941 інструкцію. Результати компіляції мікропрограми, що реалізує процедуру шифрування за алгоритмом «Калина», у вигляді кількості інструкцій наведені в таблиці 1.

Блоки даних завантажувалися в ОЗП прискорювача, після чого оброблялися відповідно до запропонованого методу. Замірявся час синтезу кадру за допомогою профайлера.

**Таблиця 1.** Кількість інструкцій при реалізації процедури шифрування на GPU

Операція	Ввід-вивід	Шифрування	Усього
read_state	4	33	37
SubBytes	37	121	158
ShiftRows	37	1	38
MixColumns	37	785	822
read_key	4	30	34
XORRoundKey	67	4	71
Повна мікропрограма	4	1937	1941

Тестування проводилося на різноманітних мікрокомп'ютерах з вбудованим графічним ядром на базі процесорів Atom Z8350, Celeron N3060 та ін. Такі мікрокомп'ютери мають невелику масу, 50-300 грам. А також невелике енергоспоживання (від 2 до 10 Вт) і можуть використовуватися в якості бортових комп'ютерів міні БПЛА. Була отримана швидкодія від 52 МБ/с до 185 МБ/с, в залежності від типу комп'ютеру. Отримані показники швидкодії дозволяють проводити процес шифрування потоку даних що надходить з сенсорів (1-5 Мб/с) в реальному масштабі часу, за допомогою запропонованої реалізації методу шифрування, з мінімальним використанням ресурсів центрального процесора.

### Висновки

В статті окреслено основні проблеми моніторингу об'єктів електроенергетичного сектору, проведено аналіз існуючих та перспективних рішень для моніторингу об'єктів електроенергетичних мереж, серед яких виділено найбільш перспективний з економічної і практичної точки зору спосіб автоматизованого моніторингу стану мереж ЛЕП за допомогою безпілотних літальних апаратів. Згідно з метою на подолання

основних проблем для систем моніторингу розподілених промислових та електроенергетичних об'єктів виконано розробку базової платформи для функціональної одиниці БПЛА, побудовано модель комунікації з наземною станцією управління і обробки да-

них та розглянуті питання забезпечення захисту прикладних даних і інформаційного обміну. Запропоновані рішення знайшли застосування в автоматизованій системі моніторингу об'єктів електроенергетичної інфраструктури за допомогою БПЛА.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Медведев Е. М. Лазерная локация земли и леса / Е. М. Медведев, И. М. Данилин, С.Р. Мельников. – М.: Геолидар, Геоскосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 230 с.
2. Афонин А. В. Инфракрасная термография в энергетике // А. В. Афонин и др. Под ред. Р. К. Ньюпорта, А. И. Таджибаева. – Т. 1. Основы инфракрасной термографии. — СПб.: СПЭ- ИПК, 2000. – 240 с.
3. Митин М. Д. Современные тенденции развития отрасли беспилотных летательных аппаратов / М. Д. Митин, Д. Б. Никольский. - GEOMATICS №4. Данные дистанционного зондирования. 2013. – С. 27-31.
4. Арбузов Р. С., Овсянников А. Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. – Новосибирск: Наука, 2009. - 136 с.
5. Skarbek L., Zak A., Ambroziak D. Damage detection strategies in structural health monitoring of overhead power transmission system // 7th European Workshop on Structural Health Monitoring July 8-11, 2014. La Cité, Nantes, France. – P. 663 – 670.
6. Li L. The UAV intelligent inspection of transmission lines // International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Industrial Informatics (AMEII 2015). – P. 1542 – 1545.
7. Adabo G. J. Unmanned aircraft system for high voltage power transmission lines of Brazilian electrical system // AUVSI's Unmanned Systems 2013. Washington (USA). 2013.
8. Щерба А. А., Резинкина М. М. Моделирование и анализ электрических полей энергетических объектов. - Киев: Наукова думка, 2008. – 248 с.
9. Sokol E. I., Rezinkina M. M., Gryb O. G., Vasilchenko V. I., Zuev A. A., Bortnikov A. V., Sosina E. V. A Method of Complex Automated Monitoring of Ukrainian Power Energy System Objects to Increase Its Operation Safety. Electrical engineering & electromechanics, 2016, no.2, pp. 65-70.
10. Аменитский М. В. Анализ потенциальных угроз системы управления беспилотных летательных аппаратов средних и тяжелых классов. – Труды МАИ. Выпуск № 94. – 2017.
11. Карпов Л. Е. Архитектура распределенных систем программного обеспечения / Л. Е. Карпов. М.: МПРЕСС, 2007. – 130 с.
12. Zuev A. A., Karaman D. G. Practical Application of the Graphic Processing Unit for Data Encryption on the UAV On-Board Computer // Proc. 2018 Int. Sc. Pract. Conf. on Problems of Infocommunications. Science and Technology, Kharkiv.
13. ДСТУ 7624:2014. Інформаційні технології. Криптографічний захист інформації. Алгоритм симетричного блокового перетворення. [Текст]. – Введ. 01–07–2015. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. Г. Гриб,  
 Національний технічний університет «ХПІ», Харків;  
 Received (Надійшла) 29.08.2018  
 Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.09.2018

### Система мониторинга объектов электроэнергетической инфраструктуры с использованием БПЛА

А. А. Зуев, Д. Г. Караман

Современные системы с протяженной и разветвленной инфраструктурой линий электропередач и большим количеством электроэнергетических объектов требуют постоянного мониторинга их технического состояния для своевременного выявления нарушений, которые могут привести к серьезным авариям и техногенным катастрофам. С ростом протяженности и сложности объектов, подлежащих мониторингу, значительно возрастают сложность и затраты мер по их профилактике и технического обслуживания. В статье проведен анализ существующих и перспективных решений для мониторинга объектов электроэнергетических сетей, среди которых отдельно рассмотрены системы с использованием беспилотных летательных аппаратов. Сформулированы основные задачи по решению проблем для систем мониторинга распределенных промышленных и электроэнергетических объектов на базе БПЛА. Проведена разработка базовой платформы для функциональной единицы БПЛА, построена модель коммуникации с наземной станцией управления и обработки данных и рассмотрены вопросы обеспечения защиты прикладных данных и информационного обмена.

**Ключевые слова:** объекты электроэнергетической инфраструктуры, обслуживание, техническое состояние, система автоматизированного мониторинга, беспилотные летательные аппараты.

### Electric power infrastructure objects monitoring system using UAV

A. Zuev, D. Karaman

Modern systems with an extensive and ramified infrastructure of power lines and a large variety of electric power facilities require constant monitoring of their technical condition for the early detection of violations that can lead to serious accidents and man-made disasters. With the growth of the length and complexity of the objects to be monitored, the complexity and costs of measures for their prevention and maintenance increase significantly. In this article the recent and perspective solutions for the power grid facilities monitoring are analyzed, among which systems using unmanned aerial vehicles are considered separately. The main tasks to solve problems for monitoring systems of distributed industrial and electric power facilities based on UAVs are formulated. A basic platform for the functional unit of the UAV was developed, a model of communication with the ground control and data processing station was built, and the issues of ensuring the protection of application data and information exchange were considered.

**Keywords:** objects of electric energy infrastructure, service, technical condition, automated monitoring system, unmanned aerial vehicles.