

УДК 621.316.9

doi:10.20998/2413-4295.2020.02.19

ПЕРСПЕКТИВИ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Є. В. ГОНЧАРОВ^{1*}, І. В. ПОЛЯКОВ¹, В. С. МАРКОВ¹, Н. В. КРЮКОВА¹,
Д. О. БОЙКОВ², М. К. СКРЕБЦОВ²

¹ кафедра загальної електротехніки, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

² кафедра двигунів внутрішнього згоряння, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

*e-mail: e.goncharov.v@gmail.com

АНОТАЦІЯ У статті проведено аналіз існуючих технічних рішень щодо контактних та безконтактних методів контролю електромережі. З аналізу глобального ринку рішень визначено, що у енергогалузі запит на системи контролю із застосуванням безпілотних літальних апаратів має стійкі перспективи зростання. Визначено, що одним з найбільш перспективних безконтактних методів контролю ліній електропередачі є метод застосування безпілотних літальних апаратів в галузі використання сучасних методів контролю ліній електропередачі. Зроблено висновки, що вагомою перевагою безпілотних літальних апаратів є їх транспортна прохідність, що зменшує витрати та підвищує ефективність використання. У зв'язку з переходом світової електроенергетичної галузі на енергоефективні технології, використання безпілотних літальних апаратів формує значний сегмент глобального енергетичного ринку. Виробники електроенергії щорічно відшкодовують втрати в енергогалузі, пов'язані з ремонтними роботами і виплатами компенсації. Відзначено, що використання безпілотних літальних апаратів дозволяє мінімізувати капітальні витрати. Зокрема, безпілотні літальні апарати з вбудованим вогнетом ефективно використовують в усуненні "засмічень", що обтяжують лінії електропостачання. В статті зазначено, що безпілотні літальні апарати забезпечують здійснення моніторингу рівня рослинності на ділянках енергомереж, що спрощує проведення розрахунків для реалізації інвестицій у нові електроенергетичні об'єкти. Відмічається, що за рахунок використання безпілотних літальних апаратів підвищиться безпека праці співробітників з обслуговування атомних електростанцій, зокрема з проведення висотних інспекцій роботи об'єктів та ліній електромережі. Отримані результати аналізу технічного стану використання безпілотних літальних апаратів доводять перспективність при впровадженні систем безконтактного контролю та моніторингу експлуатаційного стану ліній електропередачі.

Ключові слова: безконтактні методи контролю; безпілотний літальний апарат; лінія електропередачі; коротке замикання; потужність; енергоефективність

PROSPECTS OF MODERN REMOTE METHODS CONTROL OF POWER TRANSMISSION LINES

Ye. HONCHAROV^{1*}, I. POLYAKOV¹, V. MARKOV¹, N. KRYUKOVA¹, D. BOYKOV²,
N. SKREBTSOV²

¹ Department of Applied Electrical Engineering, NTU «KhPI», Kharkiv, UKRAINE

² Department of Internal Combustion Engines, NTU «KhPI», Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The article analyzes the existing technical solutions regarding contact and non-contact methods for monitoring electrical networks. From the analysis of the global solutions market it was determined that in the energy sector the demand for control systems using unmanned aerial vehicles has stable growth prospects. It is determined that one of the most promising non-contact methods for monitoring power lines is the method of using unmanned aerial vehicles in the field of application of modern methods for monitoring power lines. It is concluded that a significant advantage of unmanned aerial vehicles is their transport cross-country ability, which reduces costs and increases efficiency. In connection with the transition of the global electric power industry to energy-efficient technologies, the using of unmanned aerial vehicles forms a significant segment of the global energy market. Electric power producers annually compensate for losses in energy sectors associated with repair robots and compensation payments. It is noted that the use of unmanned aerial vehicles allows to minimizing investment. In particular, unmanned aerial vehicles with a built-in flamethrower are effectively used to eliminate "blockages", which burden the power lines. It is noted in the article, that unmanned aerial vehicles provide monitoring of the level of vegetation in the areas of energy networks, which simplifies the calculations for the implementation of investments in new electricity facilities. In particular, through the use of unmanned aerial vehicles, it is possible to increase the safety of employees serving nuclear power plants, in particular for conducting high-altitude inspections of facilities and power lines. The results of the analysis of the technical condition of the use of unmanned aerial vehicles prove the promise in the implementation of contactless monitoring systems and monitoring the operational status of power lines.

Keywords: contactless control methods; unmanned aerial vehicle; power line; short circuit; power; energy efficiency

Вступ

При експлуатації ліній електропередачі (ЛЕП) виникають складнощі, які потребують своєчасного виявлення, а також впровадження заходів щодо їх

своєчасного усунення. Найбільший розвиток щодо вирішення задач з обслуговування ЛЕП набув контроль об'єктів енергетики, який є пріоритетним і в Україні.

Вирішення вказаних питань потребує використання сучасних досягнень науки і техніки, новітніх інформаційно-вимірювальних технологій. Їх ефективність залежить від стану розроблення і застосування апаратно-програмних вимірювальних комплексів та систем.

З розроблення систем моніторингу було запропоновано телеметричний контроль параметрів проводів ЛЕП, де струм у проводах ЛЕП є контрольованим параметром за допомогою телеметричного радіоканалу. До цього методу відноситься система дистанційного вимірювання струму у проводах з передачею виміряного значення по радіоканалу, яка захищена американським патентом (Remote measuring system). На базі чого пізніше було розроблено систему, в якій використовувалася транзисторна елементна база [1].

Мета статті

Метою статті є аналіз існуючих методів та систем дистанційного контролю ліній електропередачі. Задача роботи – порівняння існуючих систем моніторингу стану ліній електропередачі з методом заснованим на використанні безпілотних літальних апаратів.

Системи контролю ліній електропередачі

В даний час у всьому світі знаходять широке застосування різні системи моніторингу повітряних ЛЕП, що забезпечують системного оператора докладними відомостями про поточний стан повітряних кабельних мереж електропостачання. Система моніторингу складається з мережі вимірювальних блоків, пов'язаних через канал зв'язку з обладнанням на диспетчерському пункті. Диспетчерські пункти розташовані у вузлових точках мереж перерозподілу енергії. В даний час в них, як правило, використовуються системи SCADA, що забезпечують обробку та інтерпретацію отриманих від вимірювальних блоків даних.

У вимірювальний блок входять такі базові компоненти:

- група датчиків для вимірювання основних поточних параметрів провідної лінії;
- процесорний модуль для обробки виміряних даних;
- система передачі даних;
- модуль автономного живлення.

При діагностиці роботи ліній електропередачі звертають увагу на параметри: сила струму в електромережах; температури проводів; натяг проводів; критичне розхитування проводів; критичне провисання проводів; обмерзання проводів.

Для забезпечення відстеження перелічених параметрів в системах моніторингу можуть використовуватися різні типи датчиків: для вимірювання струму в проводі (вимірювання струму здійснюється безконтактним методом, для чого

використовуються датчики на основі ефекту Холла або котушки Роговського); температури проводів у прольоті; механічної напруги проводу в точках підвісу (тензодатчики) для вимірювання стріл провисання; вібраційних характеристик проводів (акселерометри).

У сучасний період для передачі даних в системах моніторингу високовольтної лінії в основному використовуються безпроводні канали зв'язку – це GSM або ж ISM-радіомодеми, що працюють на частотах до 2,4 ГГц.

GSM-модеми використовуються для передачі даних в системах моніторингу. У перших моделях можливості були обмежені передачею SMS-повідомлень і даних в аналоговому режимі. Система GPRS реалізує пакетну комутацію на всьому протязі каналу зв'язку, істотно оптимізуючи послуги передачі даних в мережах стандарту GSM. Вона практично миттєво встановлює з'єднання, що використовує мережеві ресурси і займає ділянку діапазону частот тільки в моменти фактичної передачі даних, що гарантує надзвичайно ефективне використання доступної смуги частот [2].

Кожна з систем відповідає вимогам контролю ЛЕП, які відрізняються за різноманітними параметрами та характеристиками. У статті розглянуто чотири системи контролю ЛЕП:

- система моніторингу "CAT-1";
- безконтактні вимірювачі з OTML-модулем;
- система моніторингу стану повітряних ліній "DiLin";
- система моніторингу стану проводів за допомогою безпілотних авіаційних комплексів (БАК).

Система моніторингу "CAT-1". Однією з перших комерційних систем моніторингу стала система "CAT-1", розроблена в 1991 р. американською компанією The Valley Group, Inc [2]. В даний час у всьому світі використовується понад 300 систем моніторингу "CAT-1". Система забезпечує моніторинг у реальному часі погодних умов і натягу проводів в точках кріплення до опор та працює при безпосередньому контакті модуля діагностики з електричними проводами, який монтується на опорі ЛЕП.

Датчики вимірювання напруги проводів являють собою тензодатчики в корпусі з нержавіючої сталі з кріпильними отворами, що встановлюються між ізолятором і опорою (рис. 1).

Основою тензодатчиків є вимірювальний перетворювач, ізольований від основної частини пристрою і захищений іскровим розрядником, він має захист від впливу електромагнітних полів і перехідних процесів. Для підключення до основного модуля датчики комплектуються спеціальним кабелем довжиною 24 метри. Основний модуль "CAT-1" складається з вологостійкого алюмінієвого корпусу з блоком електроніки, вбудованого модему, антен для передачі даних і кріпильних елементів. Модуль призначений для експлуатації в діапазоні

температур навколишнього середовища $-40...+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3,4]. Для безперервної роботи модуль використовує зарядний пристрій для 12 акумуляторних батарей та панелі сонячних батарей (рис. 2).

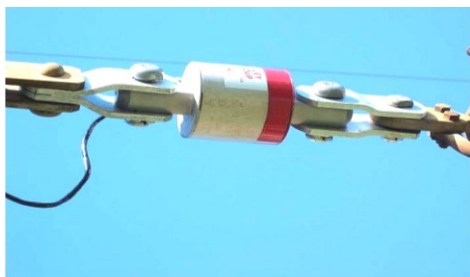


Рис. 1 – Датчики вимірювання напруги проводів



Рис. 2 – Панелі сонячної батареї модуля живлення системи "CAT-1"

Безконтактні вимірювачі з OTML-модулем.

OTML-модуль (Overhead Transmission Line Monitoring) – безконтактна система моніторингу ЛЕП, що конструктивно монтується на високовольтні проводи (рис. 3). Заміри сили струму в проводах та температури проводу проводяться в фіксованих точках. Дані вимірювань передаються в диспетчерський пункт, який обладнано системою "SCADA" через стандартний IEC-протокол (дані поступають через web-браузер) [5-7].

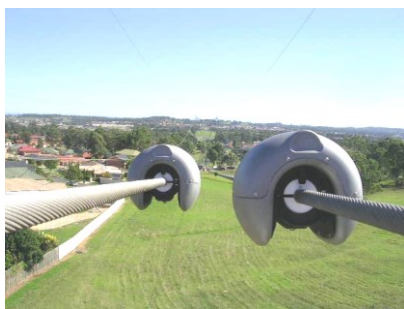


Рис. 3 – Безконтактні OTML-модулі

Вимірювання струму в проводі і живлення модуля здійснюється безконтактно. Живлення приладу здійснюється від енергії, одержуваної від проводу через струмовий трансформатор.

Основні характеристики вимірювального OTLM-модуля:

- діаметр капсули 305 мм;
- довжина 300 мм;

- вага капсули 10 кг;
- діапазон застосування на лініях ЛЕП до 420 кВ;
- частота 50 Гц;
- діаметр струмопровідного проводу 10-50 мм;
- діапазон робочих струмів 50-1100 А;
- діапазон вимірювання температури проводу $-40...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- діапазон робочих температур $-40...+70\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- точність вимірювання температури до $1\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- GSM канал передачі даних (900/1900 МГц);
- протокол передачі SMS/GPRS.

Отримана енергія використовується для живлення всього пристрою, тобто зовнішніх джерел живлення не потрібно. Виміряні значення струму і температури прив'язані, таким чином, до конкретних координат положення блоку на ЛЕП та мітках точного часу.

Вимірювач струму містить первинний перетворювач магнітного поля в електричний сигнал на основі ефекту Холла, принаймні, одну керуючу польову систему типу метал-діелектрик-напівпровідник, струмопровідну шину, сформовану в одному напівпровідниковому чіпі з первинним перетворювачем магнітного поля у вигляді плоскої металевої стрічки, ізолюваною діелектричною плівкою від напівпровідника і навколишнього середовища, з контактами на кінцях.

Затвор, принаймні, однієї з систем метал-діелектрик-напівпровідник виготовлений з металу з високою магнітною проникністю, один кінець якого розташований над центральною частиною перетворювача магнітного поля, а інший розташований над вкритою діелектричною плівкою поверхнею струмопровідної шини та перекидає її.

Система моніторингу і діагностики технічного стану повітряних ліній "DiLin".

Для моніторингу довгих і розгалужених мереж використовується система моніторингу технічного стану повітряних ліній "DiLin" [8].

Система моніторингу стану повітряних ліній "DiLin" забезпечує:

- визначення поточної технологічної спроможності лінії забезпечувати підвищену пропускну здатність;
- проведення оперативної оцінки стану ізоляції ЛЕП, виявлення дефектів, оцінки ступеня розвитку дефектів;
- реєстрації перехідних процесів у лінії з метою точної локації місць виникнення дефектів вздовж лінії;
- підготовки конкретних рекомендацій по плануванню і проведенню ремонтних робіт;
- створення умов для комплексного аналізу роботи шляхів транзиту електричної енергії на основі прогнозування зміни технічного стану повітряних ліній.

Система DiLin складається з трьох основних елементів:

1) DiLin-Sensor – первинні датчики системи моніторингу, монтовані на проводах контрольованої повітряної лінії. Вся зареєстрована і оброблена датчиками інформація передається в систему по радіоканалу.

2) DiLin-Observer – локальний центральний модуль системи моніторингу, призначений для збору інформації з первинних датчиків марки DiLin-Sensor. Монтується на кожній стороні лінії, збирає і передає інформацію в комп'ютер системи.

3) комплекс програм марки “DiLin-inv” – математичне забезпечення верхнього рівня, що об'єднує інформацію від локальних вузлів DiLin-Observer, що реалізує комплексні діагностичні функції системи.

За допомогою датчика DiLin-Sensor, що монтується на проводах лінії, проводиться реєстрація і аналіз комплексної інформації про технічний стан ЛЕП:

- температура проводів ЛЕП;
- величина струму в лінії;
- механічні 3D коливання проводів;
- параметри навколишнього повітря - температура і вологість;
- наявність обледеніння проводів;
- локація місць виникнення дефектів в лінії.

Датчик DiLin-Sensor виготовлений у вигляді циліндра, що монтується на проводах ЛЕП, має діаметр 200 мм і завдовжки 300 мм. Конструкція датчика DiLin-Sensor наведена на рис. 4.



Рис. 4 – Датчик DiLin-Sensor

Живлення всіх електронних компонентів датчика здійснюється від струму навантаження, що протікає у проводах ЛЕП. Для передачі зареєстрованої інформації “на землю” використовується стандартний радіоканал або GSM зв'язок.

Вбудований датчик модуля радіозв'язку реалізує протокол ZigBee [9, 10]. Потужність передавача достатня для організації надійного зв'язку з максимальною відстанню між датчиками і базовим приладом DiLin-Observer до 1500 метрів.

Технічні параметри системи “DiLin”:

- робоча напруга лінії від 35 кВ;
- струм навантаження в лінії не менш 40 А;
- довжина контрольованої лінії до 100 км;
- частота імпульсів розрядів 0,5...15,0 МГц;
- похибка розрахунку місця дефекту $\pm 1\%$ довжини;

- діапазон робочих температур $-40...+60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- габаритні розміри DiLin-Sensor 240x240x580 мм;
- маса датчика DiLin-Sensor 15 кг;
- розміри DiLin-Observer 520x435x230 мм;
- маса у шафі DiLin-Observer 25 кг.

Моніторинг за допомогою безпілотних авіаційних комплексів

Актуальною є науково-технічна проблема, що полягає у створенні теоретичних засад, розробленні та практичному застосуванні мобільних комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем (КІВС) контролю, що забезпечують дистанційне визначення характеристик довкілля просторово розгалужених об'єктів енергетики з використанням БАК [11].

Розв'язання цієї проблеми спрямоване на створення та практичне застосування нового класу мобільних КІВС для дистанційного контролю на базі БАК, що забезпечить використання можливостей сучасних технологій контролю та вимірювань в автоматизованому режимі, функціонування систем у важкодоступних місцях та за умов техногенної небезпеки, багатофункціональність (адаптацію) призначення за рахунок зміни модулів сенсорних підсистем, проведення динамічних вимірювань у 3D просторових координатах.

Причинами, що викликають відключення ЛЕП, є такі uszkodження:

- пошкодження проводів – 56 %;
- пробій ізоляторів – 19 %;
- пошкодження опор – 15 %;
- пошкодження інших елементів ЛЕП – 10 %.

Для контролю характеристик довкілля просторово розгалужених об'єктів енергетики за останній час розроблені методи побудови КІВС на базі БАК [12]. При цьому основною складовою БАК є безпілотний літальний апарат (БПЛА) (рис. 5).



Рис. 5 – Контроль стану ЛЕП за допомогою БПЛА

Технічні характеристики розробленого БПЛА: злітна маса – 3,5 кг; маса планера –1,5 кг; розмах крила – 1,8 м; довжина – 1,6 м; маса корисного навантаження ≤ 2 кг; час польоту з вантажем 1 кг ≤ 60 хв.; швидкість польоту 40–150 км/год; практична стеля ≤ 2000 м; час підготовки до польоту ≤ 10 хв.

Мобільна КІВС для контролю характеристик довкілля об'єктів задовольняє низці вимог: мобільності; дистанційності; безпеки життєдіяльності; можливості автономної роботи; переміщення сенсорів вимірювання фізичних величин у 3D просторі.

Використання БПЛА мультироторного типу дає можливість зробити понад 1000 тепловізійних знімків вказаних об'єктів при висоті польоту БПЛА від 30 до 100 м. Також типові тепловізійні зображення ділянок ЛЕП дозволяють спостерігати зміну температури проводів, що зумовлено зміною струмових навантажень.

Практичне застосування БПЛА, на відміну від існуючих засобів, забезпечує швидке проведення дистанційного температурного моніторингу протяжних об'єктів ЛЕП у важкодоступних та небезпечних місцях. БПЛА можуть із заданою періодичністю проводити аерофотозйомку досліджуваних об'єктів в оптичному та інфрачервоному діапазонах і вимірювати напруженості їх електричних та магнітних полів.

Безпілотні літальні апарати з вбудованим вогнеметом можуть використовуватись для усунення "засмічень", що обтяжують лінії електропостачання.

За допомогою визначення розподілу напруженості електричного та магнітного поля при роботі ЛЕП, отриманих в результаті вимірювань, а також достовірних схем систем захисту та електромережі складаються плани безпеки переміщення технічних працівників високовольтних підстанцій, а також розташування обладнання, яке особливо чутливе до можливого електромагнітного впливу.

За рахунок використання безпілотних літальних апаратів підвищиться безпека праці співробітників з обслуговування атомних електростанцій, зокрема з проведення висотних інспекцій роботи об'єктів та ліній електромережі, враховуючи сучасні вимоги з балансування енергосистеми.

У наведеній нижче табл. 1 подано порівняння цих чотирьох систем моніторингу. Багатофункціональність системи означає її застосування не тільки для контролю ЛЕП, але також для моніторингу параметрів іншого електрообладнання. Спеціалізовані системи відповідають за збір та обробку інформації безпосередньо ліній електропередачі.

Багатопараметровість означає відстеження декількох параметрів одночасно. У табл. 2 подана більш детальна інформація щодо реєстрації та обробки даних системою за наведеним параметром.

З урахуванням наведених показників для систем, можливо вибрати найбільш доцільну систему контролю стану ЛЕП, яка буде відповідати вимогам моніторингу в реальних умовах для конкретних об'єктів. Слід також підкреслити, що усі сучасні системи контролю забезпечують безпеку процесу

моніторингу для людини, що відповідає за проведення робіт по контролю стану ЛЕП.

Таблиця 1 – Порівняння систем моніторингу

Системи контролю ЛЕП	Багато-функціональність (б) або спеціалізованість (с)	Багато-параметровість	Безконтактне (б) або контактне (к) виконання
CAT-1	с	+	к
OTML-модуль	с	+	б
DiLin	с	+	к
За допомогою БАК	б	+	б

Таблиця 2 – Порівняння параметрів систем моніторингу

Системи контролю ЛЕП	Температура	Сила струму	Механічне коливання	Наявність обледеніння	Локація дефектів проводів
CAT-1	+	+	+	+	+
OTML-модуль	+	+	-	-	-
DiLin	+	+	+	+	+
За допомогою БАК	+	+	+	+	+

Крім того, БПЛА можуть забезпечити моніторинг рослинності по ділянках ЛЕП, що спрощує проведення розрахунків для реалізації нових електроенергетичних проектів.

На БПЛА встановлені камери високої роздільної здатності, які фіксують найменші деталі. БПЛА охоплюють ділянку лінії в 10 кілометрів – по 5 в кожену сторону. БПЛА літають на висоті близько 100 метрів та проводять моніторинг стану повітряних високовольтних ліній для запобігання від ушкоджень. Це дозволяє персоналу АК "Харківобленерго", перебуваючи на землі, за допомогою БПЛА відстежувати технічний стан елементів конструкцій [13].

Висновки

Напрямки з розвитку та удосконалення систем контролю ЛЕП пов'язані з постійним зростанням загальної протяжності електромереж. З сучасних методів діагностики стану ЛЕП за багатофункційністю до найбільш перспективних відноситься системи моніторингу з використанням безпілотних літальних апаратів. При цьому використовується не тільки контроль стану ЛЕП, а також відбувається реєстрації часткових розрядів оптичною реєстрацією за допомогою тепловізорів.

Список літератури

References (transliterated)

1. Momoh J. Smart Grid Design for Efficient and Flexible Power Networks Operation and Control. *IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition*. 2009. vol. 8, no. 1, P. 18-28. doi: 10.1109/PSCE.2009.4840074.
2. Yang Yang, Guangzhong Xie, Xiangdong Xu, Yadong Jiang. A Monitoring System Design in Transmission Lines based on Wireless Sensor Networks. *Energy Procedia*. 2011. 12. P. 192-199. doi: 10.1016/j.egypro.2011.10.027.
3. Nazare F. V. B., Werneck M. M. Temperature and Current Monitoring System for Transmission Lines Using Power-over-Fiber Technology. *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*. 2010. doi: 10.1109/IMTC.2010.5488198.
4. Костиков И. Система мониторинга CAT-1 – повышение пропускной способности и надежности в ЛЭП. *Энергетика*. 2011. № 3 (38).
5. Power Donut2™ System for Overhead Transmission Line Monitoring. Product Overview. URL: www.usi-power.com.
6. Kryukova N. V., Goncharov E. V., Polyakov I. V. Modern Monitoring Systems of Electric Power Lines. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції. Ч. 2 (16–18 травня 2018 р., Харків)*. Харків: НТУ «ХПІ», 2018. С. 86.
7. Grozev D., Spasov G., Shopov M., Kakanakov N., Petrova G. Experimental study of Cloud Computing based SCADA in Electrical Power Systems. *IEEE XXV International Scientific Conference Electronics (ET)*. 2016. doi: 10.1109/ET.2016.7753482.
8. Диагностические решения в энергетике. URL: <https://dimrus.ru/dilin.html>.
9. Zhang Gang, Liu Shuguang. Study on electrical switching device junction temperature monitoring system based on Zigbee technology. *IEEE International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010)*. 2010. doi: 10.1109/ICCASM.2010.5620444.
10. Degang Gan, Fan Liu, Lin Du, Yuming Liu Research and implementation of on-line monitoring techniques for high voltage equipments in Smart Grid. *IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application*. 2010. doi: 10.1109/ICHVE.2010.5640822.
11. Сокол Е. И., Резинкина М. М., Гриб О. Г. и др. Методика комплексного автоматизированного мониторинга объектов энергетической системы Украины с целью повышения безопасности ее функционирования. *Електротехніка і Електромеханіка*. 2016. № 2. С. 65-69. doi: 10.20998/2074-272X.2016.2.12.
12. Бабак В. П. Мобільний дистанційний моніторинг довкілля об'єктів енергетики. URL: https://er.knurd.edu.ua/bitstream/123456789/6652/1/MSIE2017_P015-017.pdf.
13. В Харьковской области за электросетями следят беспилотники. URL: <https://2day.kh.ua/v-harkovskoj-oblasti-za-elektrosetyami-sledyat-bespilotniki/>.
1. Momoh J. Smart Grid Design for Efficient and Flexible Power Networks Operation and Control. *IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition*, 2009, vol. 8, no. 1, pp. 18-28, doi: 10.1109/PSCE.2009.4840074.
2. Yang Yang, Guangzhong Xie, Xiangdong Xu, Yadong Jiang. A Monitoring System Design in Transmission Lines based on Wireless Sensor Networks. *Energy Procedia*, 2011, 12, pp. 192-199, doi:10.1016/j.egypro.2011.10.027.
3. Nazare F. V. B., Werneck M. M. Temperature and Current Monitoring System for Transmission Lines Using Power-over-Fiber Technology. *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 2010, doi: 10.1109/IMTC.2010.5488198.
4. Kostikov I. Monitoring system CAT-1 – increasing throughput and reliability in power transmission lines. *Energetics*, 2011, no 3 (38).
5. Power Donut2™ System for Overhead Transmission Line Monitoring. Product Overview. Available at: www.usi-power.com.
6. Kryukova N. V., Goncharov E. V., Polyakov I. V. Modern Monitoring Systems of Electric Power Lines. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. Тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції. Ч. 1 (16–18 травня 2018 р., Харків)* [Information technology: science, engineering, technology, education, health. Abstracts of the XXVI Int. Sci.-Pract. Conf. Part 2 (16–18 May 2018, Kharkov)]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2018, p. 86.
7. Grozev D., Spasov G., Shopov M., Kakanakov N., Petrova G. Experimental study of Cloud Computing based SCADA in Electrical Power Systems. *IEEE XXV International Scientific Conference Electronics (ET)*, 2016, doi: 10.1109/ET.2016.7753482.
8. Diagnostic solutions in the energy sector. Available at: <https://dimrus.ru/dilin.html>.
9. Zhang Gang, Liu Shuguang. Study on electrical switching device junction temperature monitoring system based on Zigbee technology. *IEEE International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010)*, 2010, doi: 10.1109/ICCASM.2010.5620444.
10. Degang Gan, Fan Liu, Lin Du, Yuming Liu Research and implementation of on-line monitoring techniques for high voltage equipments in Smart Grid. *IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application*, 2010, doi: 10.1109/ICHVE.2010.5640822.
11. Sokol E. I., Rezinkina M. M., Gryb O. G. and et al. A method of complex automated monitoring of Ukrainian power energy system objects to increase its operation safety. *Electrical engineering & Electromechanics*. 2016. no 2. P. 65-69. doi: 10.20998/2074-272X.2016.2.12.
12. Babak V. P. Mobile remote monitoring of energy technologies. Available at: https://er.knurd.edu.ua/bitstream/123456789/6652/1/MSIE2017_P015-017.pdf.
13. In the Kharkiv region, drones are monitoring electric networks. Available at: <https://2day.kh.ua/v-harkovskoj-oblasti-za-elektrosetyami-sledyat-bespilotniki/>.

Відомості про авторів (About the Authors)

Гончаров Євген Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, доцент кафедри загальної електротехніки, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-1924-8906; e-mail: e.goncharov.v@gmail.com.

Yevgen Honcharov – Candidate of Engineering Science (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Applied Electrical Engineering, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-1924-8906; e-mail: e.goncharov.v@gmail.com.

Поляков Ігор Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, доцент кафедри загальної електротехніки, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-9329-1705; e-mail: e.goncharov.v@gmail.com.

Igor Polyakov – Candidate of Engineering Science (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Applied Electrical Engineering, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-9329-1705; e-mail: e.goncharov.v@gmail.com.

Марков Владислав Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, доцент кафедри загальної електротехніки, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-0703-0918; e-mail: e.goncharov.v@gmail.com.

Vladislav Markov – Candidate of Engineering Science (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Department of Applied Electrical Engineering, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0703-0918; e-mail: e.goncharov.v@gmail.com.

Крюкова Наталія Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, доцент кафедри загальної електротехніки, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-4600-1159; e-mail: e.goncharov.v@gmail.com.

Natalia Kryukova – Candidate of Engineering Science (Ph. D.), Associate Professor, Department of Applied Electrical Engineering, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-4600-1159; e-mail: e.goncharov.v@gmail.com.

Бойков Дмитро Олександрович – студент бакалаврата, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, кафедри двигунів внутрішнього згоряння, м. Харків, Україна; e-mail: e.goncharov.v@gmail.com.

Dmitry Boykov – bachelor student, Department of Internal Combustion Engines, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: e.goncharov.v@gmail.com.

Скребцов Микита Костянтинович – студент бакалаврата, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, кафедри двигунів внутрішнього згоряння, м. Харків, Україна; e-mail: e.goncharov.v@gmail.com.

Nikita Skrebtsov – bachelor student, Department of Internal Combustion Engines, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: e.goncharov.v@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Гончаров Є. В., Поляков І. В., Марков В. С., Крюкова Н. В., Бойков Д. О., Скребцов М. К. Перспективи сучасних методів дистанційного контролю ліній електропередачі. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2020. № 2 (4). С. 5–5. doi:10.20998/2413-4295.2020.02.19.

Please cite this article as:

Honcharov Ye., Polyakov I., Markov V., Kryukova N., Boykov D., Skrebtsov N. Prospects of Modern Remote Methods Control of Power Transmission Lines. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2020, no. 2 (4), pp. 5–5, doi:10.20998/2413-4295.2020.02.19.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Гончаров Е. В., Поляков И. В., Марков В. С., Крюкова Н. В., Бойков Д. А., Скребцов Н. К. Перспективы современных методов дистанционного контроля линий электропередачи. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2020. № 2 (4). С. 5–5. doi:10.20998/2413-4295.2020.02.19.

АННОТАЦІЯ В статті проведено аналіз існуючих технічних рішень щодо контактних і бесконтактних методів контролю електричних мереж. З аналізу глобального ринку рішень визначено, що в енергоотраслі запит на системи контролю з використанням безпілотних літальних апаратів має стійкі перспективи зростання. Визначено, що одним з найбільш перспективних бесконтактних методів контролю ліній електропередачі є метод застосування безпілотних літальних апаратів в області застосування сучасних методів контролю ліній електропередачі. Зроблено висновок, що важливим перевагою безпілотних літальних апаратів є їх транспортна проходимость, яка зменшує витрати і підвищує ефективність використання. В зв'язі з переходом світової електроенергетичної області на енергоефективні технології, застосування безпілотних літальних апаратів формує значущий сегмент глобального енергетичного ринку. Виробники електроенергії щорічно несуть втрати в енергоотраслі, пов'язані з ремонтними роботами і виплатами компенсацій. Відзначено, що використання безпілотних літальних апаратів дозволяє мінімізувати капітальні витрати. В частині, безпілотні літальні апарати з вбудованим оптоелектронним датчиком ефективно використовують для усунування “засорених”, що навантажують лінії електроживлення. В статті відзначено, що безпілотні літальні апарати забезпечують виконання моніторингу рівня вологості на ділянках енергосетей, що спрощує проведення розрахунків для реалізації інвестицій в нові електроенергетичні об'єкти. Відзначено, що за рахунок застосування безпілотних літальних апаратів можна підвищити безпеку роботи персоналу при обслуговуванні атомних електростанцій, в частині проведення робіт висотних інспекцій об'єктів і ліній електромереж. Отримані результати аналізу технічного стану застосування безпілотних літальних апаратів свідчать про перспективність при впровадженні систем бесконтактного контролю і моніторингу експлуатаційного стану ліній електропередачі.

Ключевые слова: бесконтактные методы контроля; беспилотный летательный аппарат; линия электропередачи; короткое замыкание; мощность, энергоэффективность

Надійшла (received) 16.04.2020