

УДК 621.316.9

doi:10.20998/2413-4295.2021.02.03

РОЗВИТОК, КОНСТРУЮВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Є. В. ГОНЧАРОВ^{1*}, Н. В. КРЮКОВА¹, С. О. ВЕТВИЦЬКА², В. С. МАРКОВ¹,
І. В. ПОЛЯКОВ¹

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

² кафедра технологій кераміки, вогнетривів, скла та емалей, НТУ «ХПІ», Харків, УКРАЇНА

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

АНОТАЦІЯ У статті проведено огляд методів із вдосконалення технологій моніторингу та обстеження стану електромереж. Проаналізовано стан розвитку з конструювання та методів використання безпілотних літальних апаратів, які призначені до обслуговування ліній електропередачі. Розглянуто низку питань зі створення концепції безпілотних літальних апаратів з високою підйомною здатністю, що дозволяє їх застосувати для різних засобів призначення з обслуговування ліній електромереж, а це в свою чергу зменшує капітальні витрати. Безпілотні літальні апарати набувають все більшого використання комунальними підприємствами, що знижує ризики та вартість обслуговування у порівнянні з іншими системами моніторингу ліній електропередачі. Визначено, що в галузі електроенергетики найбільш перспективним з методів контролю ліній електропередачі є застосування безпілотних літальних апаратів сумісно з використанням сучасного вимірювального обладнання і цифрових технологій. Зроблено висновки, що вагомою перевагою використання безпілотних літальних апаратів є їх транспортна прохідність, яка зменшує витрати та підвищує ефективність їх використання, як засіб з визначення перспективних місць для розташування вітроелектростанцій. Відзначено, що з переходом світової електроенергетичної галузі на використання безпілотних літальних апаратів буде забезпечено ресурсозбереження і зменшені витрати. Більш того, визначено, що використання безпілотних літальних апаратів з високою підйомною здатністю дозволяє мінімізувати витрати на використання додаткової підйомної техніки та технічного персоналу. Зокрема, безпілотні літальні апарати з високою підйомною здатністю, що використовують вогнемети, можуть ефективно усувати такі перешкоди, як засмічення на лініях електропередачі. Відмічається, що за рахунок використання безпілотних літальних апаратів підвищиться безпека праці співробітників з обслуговування електроенергетичних об'єктів та ліній електромережі. Отримані результати з аналізу технічного стану використання безпілотних літальних апаратів вказують на перспективність впровадження систем віддаленого контролю та моніторингу експлуатаційного стану ліній електропередачі.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат; ліній електропередач; коротке замикання; обмежувач струму; потужність; енергоефективність

DEVELOPMENT, DESIGN AND APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR POWER LINES

Ye. HONCHAROV¹, N. KRIUKOVA¹, S. VIETVYTSKA², V. MARKOV¹, I. POLIAKOV¹

¹ Department of Applied Electrical Engineering, NTU "KhPI", Kharkiv, UKRAINE

² Department of Ceramics, Refractory Materials, Glass and Enamels Technology, NTU "KhPI", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The article reviews the methods for improving the technology of monitoring and inspection of the state of power grids. The state of development in the design and methods of using unmanned aerial vehicles, which are intended for servicing power lines, is analyzed. A number of issues related to the concept of unmanned aerial vehicles with high lifting capacity are considered, which allows them to be used for various means of maintenance of power lines, which in turn reduces capital costs. Unmanned aerial vehicles are increasingly being used by utilities, which reduces the risks and costs of maintenance compared to other transmission line monitoring systems. It was determined that in the field of electric power industry the most promising of the methods for monitoring power lines is the application of unmanned aerial vehicles together with the use of modern measuring equipment and digital technologies. It is concluded that a significant advantage of the use of unmanned aerial vehicles is their possibility, which reduces costs and increases the efficiency of their use as a means of determining promising locations for wind farms. It is noted that with the transition of the global electricity industry to the use of unmanned aerial vehicles will save resources and reduce costs. Moreover, it is determined that the use of unmanned aerial vehicles with high lifting capacity allows minimizing the cost of using additional lifting equipment and technical personnel. In particular, high-lift unmanned aerial vehicles using flamethrowers can effectively remove obstacles such as clogging on power lines. It is noted that the use of unmanned aerial vehicles will increase the safety of employees in the maintenance of power facilities and power lines. The obtained results from the analysis of the technical

condition of the use of unmanned aerial vehicles indicate the prospects for the introduction of remote control systems and monitoring of the operational condition of power lines.

Keywords: unmanned aerial vehicle; power line; short circuit; current limiter; power; energy efficiency

Вступ

При експлуатації ліній електропередач (ЛЕП) можуть виникнути аварійні ситуації, що потребують своєчасного виявлення, а також їхнього усунення. Найбільшого розвитку, щодо вирішення задач з обслуговування ЛЕП, набув віддалений контроль електроенергетичних об'єктів [1,2].

Вирішення вказаних питань потребує використання сучасних технічних рішень та інформаційно-вимірювальних технологій, що потребує застосування вимірювальних апаратно-програмних комплексів [3].

Завдяки розробленню систем моніторингу ЛЕП було запропоновано метод віддаленого контролю за допомогою використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА). На основі цієї технології пізніше було розроблено методи з обслуговування ЛЕП, що забезпечують більшу безпеку при виконанні технічних робіт.

Мета статті

Метою статті є аналіз стану розвитку конструювання та використання безпілотних літальних апаратів для ліній електропередач. Задача роботи – порівняння наявних систем моніторингу стану ліній електропередач з методом, заснованим на використанні безпілотних літальних апаратів.

Аналіз наявних методів

Так, наприклад, у США останнім часом загострилася проблема виникнення природних пожеж на значних територіях різних штатів. Одна із головних причин виникнення пожеж, окрім природних умов, є аварійні режими роботи та короткі замикання у лініях електромереж.

Для забезпечення обмеження струмів короткого замикання використовуються струмообмежувальні реактори. Обмежувачі струму короткого замикання вмикаються у частину електромережі, що передбачає захист від аварійних струмів. Такий пристрій характеризується низьким опором у номінальному режимі, а у струмообмежувальних ректорах з надпровідними струмонесучими елементами опір відсутній. Вмикання струмообмежувачів у певні вузли енергосистеми дозволить продовжити строк роботи комутаційної апаратури. У індукційних обмежувачах струму також використовуються магнітопроводи [4].

Тоді при короткому замиканні номінальна напруга буде дорівнювати спаду напруги на обмежувачі струму:

$$U_n = X_L I_{кз} = 4,44 f w B_{кз} S_{ос}.$$

При зростанні аварійного струму магнітна індукція у осерді $B_{кз}$ не повинна опинитися у насиченні:

$$B_{кз} = (0,8 \dots 0,85) B_{max}.$$

Відповідно, площа перерізу осердя реактора:

$$S_{ос} = \frac{U_n}{4,44 f w B_{кз}},$$

де $S_{ос}$ – площа перерізу осердя; $B_{кз}$ – магнітна індукція сталі осердя обмежувача при короткому замиканні; w – кількість витків; f – частота коливань напруги.

Як приклад, компанія PG & E проводить як поточне обслуговування, так і додаткові перевірки інфраструктури електропостачання з використанням квадрокоптерів (рис. 1) навколо округів Гумбольдт і Мендосіно [5,6]. Комунальна компанія готується до інспектування усіх ліній електропередачі в зонах ризику природних пожеж Рівня 3 і однієї третини ліній у зонах ризику Рівня 2.



Рис. 1 – Перевірка інфраструктури електропостачання за допомогою БПЛА

Програма перевірки системи прискорює цикли перевірок, виходячи за рамки нормативних вимог, щоб забезпечити відповідність ризику лісових пожеж. Це одна з багатьох ініціатив, зроблених PG & E для захисту безпеки і надійності електромережі, поряд з іншими заходами, включаючи поліпшене керування рослинністю і зміцнення енергосистеми.

Компанія PG & E обстежує понад 24000 км своїх електричних ліній, використовуючи моделі квадрокоптерів, такі як Inspire, Mavic та Matrice. При цьому перевіряються всі компоненти, включаючи траверси, ізолятори і опори, а також важливі електричні компоненти та обладнання. Також документуються отримані дані за допомогою зображень з високою роздільною здатністю, які аналізуються спеціальними групами з технічного обслуговування, проектування, будівництва систем й

планування їх моніторингу для оцінки виявлених недоліків. При цьому також задіяні БПЛА з тепловізором для контролю стану сонячних модулів (рис. 2).



Рис. 2 – Контроль стану сонячних модулів за допомогою БПЛА

Встановлений на БПЛА тепловізор дозволяє виявити теплові аномалії на поверхні модулів. Як правило, їхня наявність вказує на можливі несправності або пошкодження обладнання.

Отримавши відповідні дані, персонал електростанції виїжджає до проблемної ділянки. Найчастіше це може бути трава й об'єкти природного походження. Іноді потрібно більш серйозне втручання, аж до заміни модулів з ушкодженнями, що утворилися, наприклад, після удару блискавки.

Також БПЛА з тепловізором допомагають контролювати стан обладнання вузлів підстанцій 110 кВ (відкриті розподільні пристрої), силові трансформатори, громовідводи, вежі освітлення, ділянки повітряних ліній в зоні експлуатаційної відповідальності [7].

Крім того, за допомогою групи БПЛА можна:

- обрати місце для встановлення «ферм вітру»;

- підбрати оптимальні місця для установки вітроелектрогенераторів не тільки на суші, а й на воді (рис. 3).



Рис. 3 – Вибір оптимального місця для установки вітроелектрогенераторів

Ефективність використання вітроелектрогенераторів значною мірою залежить від правильного вибору місць для їхньої установки [8,9].

Від застосування БПЛА очікується отримати чималий економічний ефект.

Розрахунок «ферм вітру» ускладнений тим, що необхідно враховувати вплив одних вітроелектрогенераторів на інші, в індивідуальних і унікальних для кожного географічного району умовах. Неправильно розташований вітроелектрогенератор здатний зменшити ефективність найближчих енергосистем на 40 % і навіть суттєво прискорити їхнє зношення.

Таким чином, «фермерам вітру» доводиться враховувати наступні моменти:

- вітроелектрогенератори не можна ставити занадто близько один до одного (впаде ефективність, прискориться знос);

- вітроелектрогенератори не можна ставити занадто далеко один від одного (істотно зросте вартість кабелів).

Традиційно, проблему вирішують за допомогою комп'ютерного моделювання, але такий підхід не дуже добре враховує особливості місця встановлення.

Команда дослідників з Швейцарської вищої технічної школи в Цюриху розробила БПЛА з комплексом сенсорів, що дозволяють збирати дані про рельєф місцевості та повітряні потоки. Така інформація дозволяє провести моделювання з розміщення вітроелектрогенераторів, що близьке до оптимуму.

Наступний крок – розробка групи малих БПЛА, здатної проводити одночасні виміри на великій площі, що прискорить проведення досліджень [10,11].

Для очищення високовольтних проводів використовують БПЛА з вогнеметом. Якщо на лінію електропередач потрапило сміття, вживають наступні дії – доверху посилають спеціально навчену людину, знеструмлюючи на час лінію.

У Китаї (м. Сан'ян) пішли іншим шляхом, скориставшись можливостями БПЛА з вогнеметами [12]. БПЛА спалюють сміття (наприклад пластикові пакети) та інші об'єкти у важкодоступних місцях залпами з вогнемета (рис. 4). Раніше доводилося знімати фахівцям, яких піднімали до проводів за допомогою автовишки з телескопічним або важільно-телескопічним підйомником. Мова йде про квадрокоптер DJI S1000 + (вантажопідйомністю близько 11 кг).

БПЛА для інспекції різноманітних об'єктів. Латвійська компанія Aerones також займається розробкою потужних квадрокоптерів: апаратів з 28 моторами і 16 батареями, здатних піднімати вантажі вагою до 181 кг. Нова ідея полягає у використанні потужних БПЛА для очищення лопатей вітроелектрогенераторів від бруду в США, Іспанії, Туреччині й в країнах Південної Америки, і від льоду в Канаді, Скандинавії та Європі.



Рис. 4 – Очищення високовольтних мереж за допомогою БПЛА з вогнеметом

Розробники мають намір адаптувати ці квадрокоптери для очищення лопатей вітроелектрогенераторів – від бруду у теплих країнах, й від льоду у холодних. Квадрокоптери можуть працювати, отримуючи живлення з землі (рис. 5), або в автономному режимі.



Рис. 5 – Очищення БПЛА лопатей вітроелектрогенераторів

В останньому випадку час автономного польоту складе не більше 12 хвилин. Отже поява все більш потужних електричних БПЛА кожного разу супроводжується низкою міркувань експертів, щодо потенціалу їх застосування.

Висновки

Завдяки недорогому використанню та простоті експлуатації БПЛА стали незамінним методом перевірки технічного стану ліній електропередачі [13, 14]. БПЛА все більше використовують у комунальній галузі, завдяки зниженій вартості та меншим ризикам.

Більш того, сталий стан у напрямку з конструювання БПЛА великої потужності забезпечив їх використання не тільки як засобів моніторингу, а й для технічного обслуговування ліній електропередачі.

Порівняно з іншими системами моніторингу ліній електропередачі відзначено розширення можливостей з функціоналу обладнання БПЛА. Таким чином, визначено тенденцію зі збільшення галузей застосування квадрокоптерів як при обстеженні, так і проектуванні електроенергосистем.

Список літератури

1. Honcharov Y. V., Polyakov I. V., Markov V. S., Kriukova N. V. Consideration of Appliance Superconductors in Inductive Short Circuit Current Limiter. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). 2020. P. 339–342. doi: 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250125.
2. PG&E Uses Drones to Check Infrastructure Affected by Northern California Wildfires. URL: <https://www.tdworl.com/overhead-transmission/article/20970394/pg-e-uses-drones-to-check-infrastructure-affected-by-northern-california-wildfires>. (дата звернення: 03.03.2021).
3. Беспилотник с тепловизором задействовали для контроля состояния солнечных модулей. URL: <http://robotrends.ru/pub/2033/bespilotnik-s-teplovizorom-zadyaystvovali-dlya-kontrolya-sostoyaniya-solnechnyh-modulyay> (дата звернення: 03.12.2020).
4. Дроны выберут место для “ферм ветра” будущего. URL: <http://robotrends.ru/pub/1648/drony-vyberut-mesto-dlya-ferm-vetra-budushego> (дата звернення: 03.03.2021).
5. Беспилотники и тушение пожаров. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Беспилотный-летательный-аппарат-\(дрон,-БПЛА\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Беспилотный-летательный-аппарат-(дрон,-БПЛА)) (дата звернення: 03.03.2021).
6. PG&E to conduct electrical inspections with helicopters and drones in Mendocino and Humboldt this month. URL: <https://mendovoice.com/2020/05/pg-e-to-conduct-electrical-inspections-with-helicopters-and-drones-in-mendocino-and-humboldt-this-month/> (дата звернення: 03.03.2021).
7. Гончаров С. В., Поляков І. В., Марков В. С., та ін. Перспективи сучасних методів дистанційного контролю ліній електропередачі. *Вісник НТУ “ХПІ”. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2020. № 2(4). С. 145–151. doi:10.20998/2413-4295.2020.02.19.
8. 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.
9. 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.
10. Junfeng L., Min L., Qinruo W. A Novel Insulator Detection Method for Aerial Images. *Proceedings of the 9th International Conference on Automation Engineering (ICCAE), Sydney, Australia, 18–21 February 2017*. 141–144. doi:10.1145/3057039.3057065
11. Yang T. W., Yin H., Ruan Q. Q., Han J., Qi J. T., Yong Q., Wang Z. T., Sun Z. Q. Overhead Power Line Detection from UAV Video Images. *Proceedings of the 19th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP), Auckland, New Zealand, 28–30 November 2012*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6484570&isnumber=6484553> (дата звернення: 03.03.2021).
12. Correa A. C., Mondragon I. F., Ortiz F. A. P. Towards visual based navigation with power line detection. *Advances in Visual Computing, ISVC 2014, Lecture Notes in Computer Science*. Springer, 2014. Vol. 8887. P. 827–836.

13. Han B., Wang X. Learning for Tower Detection of Power Line Inspection. *DEStech Trans. Comput. Sci. Eng.* 2017. P. 216–220. doi: 10.12783/DTCSE/ICCAE2016/7194
14. Zuo D., Hu H., Qian R., Liu Z. An insulator defect detection algorithm based on computer vision. *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), Macau, China*, 18–20 July 2017. P. 361–365. doi: 10.1109/ICInfA.2017.8078934.

References (transliterated)

1. Honcharov Y. V., Polyakov I. V., Markov V. S., Kriukova N. V. Consideration of Appliance Superconductors in Inductive Short Circuit Current Limiter. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, 2020, pp. 339–342, doi: 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250125.
2. PG&E Uses Drones to Check Infrastructure Affected by Northern California Wildfires. Available at: <https://www.tdworld.com/overhead-transmission/article/20970394/pg-e-uses-drones-to-check-infrastructure-affected-by-northern-california-wildfires> (accessed 03.03.2021).
3. A drone with a thermal imager was used to monitor the status of solar modules. Available at: <http://robotrends.ru/pub/2033/bspilotnik-s-teplovizorom-zadyaystvovali-dlya-kontrolya-sostoyaniya-solnechny-modulyay> (accessed 03.12.2020).
4. Drones will choose the location for the "wind farms" of the future. Available at: <http://robotrends.ru/pub/1648/drony-vyberut-mesto-dlya-ferm-vetra-budushego> (accessed 03.03.2021).
5. Drones and firefighting. Available at: [https://www.tadviser.ru/index.php/Беспилотный_летательный_аппарат_\(дрон,_БПЛА\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Беспилотный_летательный_аппарат_(дрон,_БПЛА)) (accessed 03.03.2021)
6. PG&E to conduct electrical inspections with helicopters and drones in Mendocino and Humboldt this month. Available at: <https://mendovoice.com/2020/05/pg-e-to-conduct-electrical-inspections-with-helicopters-and-drones-in-mendocino-and-humboldt-this-month/> (accessed 03.03.2021).
7. 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*, 2020, no. 2(4), pp. 145–151, doi:10.20998/2413-4295.2020.02.19.
8. Kryukova N. V., Goncharov E. V., Polyakov I. V. Modern Monitoring Systems of Electric Power Lines. *Informatsiyi tekhnolohiyi: nauka, tekhnika, tekhnolohiya, osvita, zdorov'ya. Tezy dopovidey XXVI mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi. Ch. 1 (16–18 travnya 2018, Kharkiv)* [Information technology: science, engineering, technology, education, health. Abstracts of the XXVI Int. Sci.-Pract. Conf. Part 1 (16–18 May 2018, Kharkov)]. Kharkiv, 2018, p. 86.
9. 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, pp. 65–69, doi:10.20998/2074-272X.2016.2.12.
10. Junfeng L., Min L., Qinruo W. A Novel Insulator Detection Method for Aerial Images. *Proceedings of the 9th International Conference on Automation Engineering (ICAE), Sydney, Australia*, 18–21 February 2017, pp. 141–144, doi:10.1145/3057039.3057065
11. Yang T. W., Yin H., Ruan Q. Q., Han J., Qi J. T., Yong Q., Wang Z. T., Sun Z. Q. Overhead Power Line Detection from UAV Video Images. *Proceedings of the 19th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP), Auckland, New Zealand*, 28–30 November 2012. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6484570&isnumber=6484553> (accessed 03.03.2021).
12. Correa A. C., Mondragon I. F., Ortiz F. A. P. Towards visual based navigation with power line detection. *Advances in Visual Computing*, ISVC 2014, Springer 2014, Vol. 8887, pp. 827–836.
13. Han B., Wang X. Learning for Tower Detection of Power Line Inspection. *DEStech Trans. Comput. Sci. Eng.* 2017, pp. 216–220, doi: 10.12783/DTCSE/ICCAE2016/7194.
14. Zuo D., Hu H., Qian R., Liu Z. An insulator defect detection algorithm based on computer vision. *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), Macau, China*, 18–20 July 2017, pp. 361–365, doi: 10.1109/ICInfA.2017.8078934.

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.

Yevhen Honcharov – Candidate of Engineering Science (Ph.D.), associate professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", associate professor at the Department of Applied Electrical Engineering, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-1924-8906; 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.

Nataliia Kriukova – 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.

Ветвицька Соф'я Олександрівна – студентка бакалаврата, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей, м. Харків, Україна.

Sofia Vietvytska – bachelor student, Department Ceramics, Refractory Materials, Glass and Enamels Technology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine.

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.

Vladyslav Markov – Candidate of Engineering Science (Ph. D.), associate professor, associate professor at the Department of Applied Electrical Engineering, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0703-0918.

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.

Ihor Poliakov – Candidate of Engineering Science (Ph.D.), associate professor, associate professor at the Department of Applied Electrical Engineering, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-9329-1705.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Гончаров С. В., Крюкова Н. В., Вітвицька С. О., Марков В. С., Поляков І. В. Розвиток, конструювання та використання безпілотних літальних апаратів для ліній електропередач. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 2 (8). С. 15-20. doi:10.20998/2413-4295.2021.02.03.

Please cite this article as:

Honcharov Ye., Kryukova N., Vietvytska S., Markov V., Polyakov I. Development, design and application of unmanned aerial vehicles for power lines. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021, no. 2 (8), pp. 15-20, doi:10.20998/2413-4295.2021.02.03.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Гончаров Е. В., Крюкова Н. В., Ветвицкая С. А., Марков В. С., Поляков И. В. Развитие, конструирование и применение беспилотных летательных аппаратов для линий электропередач. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2021. № 2 (8). С. 15-20. doi:10.20998/2413-4295.2021.02.03.

АННОТАЦІЯ В статті проведено огляд методів по вдосконаленню технологій моніторингу та обстеження стану електричних мереж. Проаналізовано стан розвитку конструювання та методів використання безпілотних літальних апаратів, які призначені для обслуговування ліній електропередач. Розглянуто ряд питань по створенню концепції безпілотних літальних апаратів з високою підйомною здатністю, що дозволяє використовувати для різних цілей призначення по обслуговуванню ліній електропередач, а це в свою чергу зменшує капітальні витрати. Безпілотні літальні апарати набувають все більшого використання комунальними підприємствами, знижують ризики та вартість обслуговування по порівнянню з іншими системами моніторингу ліній електропередач. Визначено, що в області електроенергетики найбільш перспективним з методів контролю ліній електропередач є застосування безпілотних літальних апаратів разом з використанням сучасного вимірювального обладнання та цифрових технологій. Зроблено висновки, що вагомим перевагою використання безпілотних літальних апаратів є їх транспортна проходимость, що зменшує витрати та підвищує ефективність їх застосування, як засіб по визначенню перспективних місць для розміщення ветроелектростанцій. Відзначено, що з переходом світової електроенергетичної галузі на використання безпілотних літальних апаратів буде забезпечено ресурсозбереження та зменшені витрати. Крім того, визначено, що використання безпілотних літальних апаратів з високою підйомною здатністю дозволяє мінімізувати витрати на використання додаткової підйомної техніки та технічного персоналу. В частности, безпілотні літальні апарати з високою підйомною здатністю використовують огнемети, можуть ефективно усувати перешкоди, як засорення на лініях електропередач. Відзначається, що за рахунок використання безпілотних літальних апаратів підвищиться безпека праці співробітників по обслуговуванню електроенергетичних об'єктів та ліній електропередач. Отримані результати по аналізу технічного стану використання безпілотних літальних апаратів вказують на перспективність впровадження систем віддаленого контролю та моніторингу експлуатаційного стану ліній електропередач.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат; лінія електропередач; коротке замикання; обмежувач струму; потужність; енергоефективність

Надійшла (received) 22.04.2021