Энерго- и ресурсосбережение – XXI век. 2023. С \_ \_ - \_ \_.

Energy and resource saving XXI century. 2023. P. \_ \_ - \_ \_.

Энергоэффективность систем электроснабжения промышленности и направления их развития

Научная статья

УДК: 629.7.014:623.746.4-519:629.7.017.1:621.315-047.36

**Использование транспозиции проводов для идентификации района аварийной посадки беспилотного летательного аппарата, осуществляющего мониторинг ЛЭП 10 кВ**

**Чернышов Вадим Алексеевич1, Пригодский Максим Олегович2**

1,2ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», Орёл, Россия,

1 blackseam78@mail.ru, https:// orcid.org/0000-0002-5955-5540

2 prigodskymaks@gmail.com

Автор, ответственный за переписку: Пригодский Максим Олегович, prigodskymaks@gmail.com

**Аннотация.** *Статья посвящена совершенствованию мониторинга технического состояния воздушных линий электропередачи напряжением 10 кВ с использованием беспилотных летательных аппаратов. Рассматривается новое инженерно-техническое решение, основанное на использовании транспозиции проводов для идентификации района аварийной посадки беспилотного летательного аппарата, осуществляющего мониторинг воздушной линии электропередачи 10 кВ и способствующее успешности его аварийного приземления, отыскания и возвращения в строй.*

**Ключевые слова:** *Воздушная линия электропередачи 10 кВ, электромагнитное поле, транспозиция проводов, мониторинг, беспилотный летательный аппарат, потеря управления, аварийная посадка.*

**Для цитирования:** *Чернышов В.А. Использование транспозиции проводов для идентификации района аварийной посадки беспилотного летательного аппарата, осуществляющего мониторинг ЛЭП 10 кВ // Энерго-и ресурсосбережение – XXI век. 2023. С. \_ \_ - \_ \_.*

Energy efficiency of industrial power supply systems and directions for their development.

**Using wire transposition to identify the emergency landing area of an unmanned aerial vehicle monitoring 10 kV power lines**

**Chernyshov Vadim Alekseevich1, Prigodsky Maxim Olegovich2**

1,2Oryol state university of I.S. Turgenev, Oryol, Russia

1blackseam78@mail.ru, https:// orcid.org/0000-0002-5955-5540

2prigodskymaks@gmail.com

Corresponding author: Prigodsky Maxim Olegovich, prigodskymaks@gmail.com

**Annotation.** *The article is devoted to improving the monitoring of the technical condition of 10 kV overhead power lines using unmanned aerial vehicles. A new engineering and technical solution is being considered, based on the use of wire transposition to identify the emergency landing area of an unmanned aerial vehicle that monitors a 10 kV overhead power line and contributes to the success of its emergency landing, search and return to service.*

**Keywords:** *10 kV overhead power line, electromagnetic field, wire transposition, monitoring, unmanned aerial vehicle, loss of control, emergency landing.*

**For citation:** *Chernyshov V.A. Using wire transposition to identify the emergency landing area of an unmanned aerial vehicle monitoring 10 kV power lines // Energy and resource saving – XXI century. 2023. p. \_ \_ - \_ \_.*

Воздушные линии электропередачи играют жизненно важную роль в современной энергетике, обеспечивая передачу электроэнергии от электростанций к потребителям. Однако, эти линии подвержены различным рискам, таким как повреждения, коррозия и механические дефекты, которые могут привести к снижению надежности и авариям в энергосистемах. Для обеспечения безопасности и эффективной работы воздушных линий электропередачи необходим регулярный и качественный мониторинг. В последние годы, технология беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) стала все более популярной и представляет собой перспективный инструмент для мониторинга воздушных линий электропередачи.

Учитывая тот факт, что практика применения БПЛА в отечественной электроэнергетике только набирает обороты, имеющиеся данные о потерях БПЛА носят разрозненный характер и не позволяют объективно утверждать, что, на сегодняшний день, проблема потери гражданских БПЛА является актуальной. Однако стремительное развитие индустрии беспилотников, открывает перед ними все новые и новые функциональные возможности, обуславливающие для них все боле широкое применение, при этом количество инцидентов, связанные с утерей БПЛА, вероятнее всего будет увеличиваться пропорционально активности и массовости их использования [1].

В настоящее время в ПАО «Россети», в рамках крупномасштабной программы «Цифровая трансформация» интеграция БПЛА в технологический процесс становится с каждым днем более заметной [2]. Беспилотники используются для мониторинга технического состояния воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) разного класса напряжения, в том числе и для ВЛЭП 10 кВ, проходящих по населенным пунктам, удаленным лесным районам и территориям сельскохозяйственного назначения [3].

Учитывая, тот факт, что данные летательные аппараты несут на своем борту дорогостоящее спецоборудование (спутниковые навигаторы, видеокамеры оптического диапазона, фотоаппараты оптического диапазона; тепловизоры, а также детекторы напряженности электромагнитного поля), вероятность потенциальной потери БПЛА должна быть сведена к минимуму.

Кафедра электрооборудования и энергосбережения ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева» активно работает в данном направлении и на сегодняшний день имеет в своем активе несколько схемотехнических решений, позволяющих в случае потери БПЛА связи с наземным пунктом управления (НПУ) использовать параметры электромагнитного поля (ЭМП) ВЛЭП 10 кВ для сопровождения его в заранее установленный район аварийной посадки (ЗУРАП) с измененными параметрами ЭМП [4-7]. Одно из них, позволяет реализовать режим аварийной посадки БПЛА в ЗУРАП, находящемся на участке ВЛЭП 10 кВ, имеющим транспозицию проводов [5].

Суть предполагаемого инженерно-технического решения поясняется чертежом (см. рисунок 1) на котором представлена принципиальная схема способа завершения полета ДПЛА в ЗУРАП при осуществлении им мониторинга состояния ВЛЭП 10 кВ и потере связи с наземным пунктом управления (НПУ).

На рисунке представлены следующие элементы: ВЛЭП 1; ЭМП 2 с параметрами Х1, формируемое ВЛЭП 1 до транспозиции проводов; ЭМП 3 с параметрами Х2, формируемое ВЛЭП 1 после транспозиции проводов; НПУ 4; БПЛА 5, осуществляющий мониторинг состояния ВЛЭП 1 по команде с НПУ 4; БПЛА 6, потерявший связь с НПУ 4 и пилотируемый посредством автопилота, реагирующего на ЭМП 2 и ЭМП 3, формируемые ВЛЭП 1; ЗУРАП 7 БПЛА 6; БПЛА 8, осуществивший аварийную посадку в ЗУРАП 7; опоры 9 и 10 ВЛЭП 1, образующие пролет ВЛЭП 1 с транспозицией проводов, находящийся в центре ЗУРАП 7 ДПЛА 6 и разделяющий ВЛЭП 1 на участки, характеризующиеся отличием параметров ЭМП 2 и ЭМП 3.

Принцип работы предлагаемого инженерно-технического решения заключается в следующем. По всей длине ВЛЭП 1 предварительно организуется необходимое количество ЗУРАП 7, в центральной части которых между двух опор 9 и 10 формируют пролет с транспозицией проводов, разделяющий ВЛЭП 1 на участки, характеризующиеся различными параметрами ЭМП 2 и ЭМП 3. БПЛА 5 осуществляющий мониторинг состояния ВЛЭП 1 с установленной с НПУ 4 скоростью, при потере связи с НПУ 4, условно принимает статус БПЛА 6 и продолжает свое движение вдоль ВЛЭП 1 с той же скоростью, уже под управлением автопилота, чувствительные органы которого контролируют параметры ЭМП 2 (ЭМП 3) ВЛЭП 1. При подлете БПЛА 6 к любому из оказавшихся на его пути пролетов ВЛЭП 1, на котором происходит изменение параметров ЭМП 2 (ЭМП 3), его автопилот отрабатывает заранее установленную команду на приземление в ЗУРАП 7. После приземления в ЗУРАП 7, БПЛА 6, потерявший связь с НПУ 4 условно принимает статус приземлившегося БПЛА 8. При этом с НПУ 4 контролируют продолжительность полета БПЛА 6 с установленной скоростью до потери связи и вычисляют пройденное им расстояние вдоль трассы ВЛЭП 1 в штатном режиме, что позволяет идентифицировать первоочередной, на пути его дальнейшего следования, ЗУРАП 7, а также установить время аварийного приземления БПЛА 8. Далее направляют в ЗУРАП 7 персонал НПУ 4 для оперативного возвращения в строй БПЛА 8.

***Рис.1 – Принципиальная схема способа завершения полета ДПЛА в ЗУРАП при осуществлении им мониторинга состояния ВЛЭП 10 кВ и потере связи с НПУ***

Предлагаемый способ позволяет снизить риск утраты БПЛА 5 в случае потери связи с НПУ 4, а также оперативно и экономично идентифицировать место его аварийного приземления. Способ также позволяет предотвратить травматизм и материальный ущерб, связанные с неконтролируемым полетом и приземлением БПЛА 5, что в значительной степени повышает эффективность его применения при осуществлении мониторинга состояния ВЛЭП 1, что в целом положительно скажется на надежности электроснабжения потребителей и эффективности функционирования электросетевой компании.

Однако, несмотря на то, что предлагаемое инженерно-техническое решение позволяет обойтись без существенных капитальных вложений и эксплуатационных затрат (за счет использования существующей инфраструктуры ВЛЭП 10 кВ), оно имеет и некоторые недостатки, которые могут в дальнейшем ограничивать масштабность его применения. Это обусловлено тем, что место изменения взаимного расположения проводов отдельных фаз по длине ВЛЭП 10 кВ определяется на основании инженерных расчетов, которые не учитывают рельеф местности, особенности грунта, а также наличие вблизи трассы ВЛЭП 10 кВ населенных пунктов и агропромышленных предприятий. Вследствие чего место транспозиции проводов не всегда может удовлетворять требованиям аварийной посадки БПЛА. Поэтому авторы данной публикации намерены продолжать осуществление научно-исследовательской деятельности, направленной на повышение эффективности мониторинга ВЛЭП 10 кВ с использованием БПЛА, достигаемой, в том числе и за счет обеспечения успешности аварийного приземления, отыскания и возвращения в строй БПЛА.

**Список источников**

1. Быков, А. И. К некоторым вопросам правового регулирования полетов беспилотных летательных аппаратов на территории российской федерации / А.И. Быков // Вестник ВГУ. Серия: Право. – 2018. № 4. – С. 194-199

2. Концепция цифровая трансформация 2030 [Электронный ресурс]. file:///C:/Users/pc/Desktop/Kontseptsiya\_Tsifrovaya\_transformatsiya\_2030.pdf (дата обращения: 13.11.2023).

3. Беляев, П.В. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов при контроле и диагностике объектов энергетики / П. В. Беляев, А. П. Головский, Д. С. Садаев // Динамика систем, механизмов и машин. – 2019. Том 7, № 2. – Омск: Издательство ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет». – С. 18-24

4. Чернышов, В.А. Способ управления беспилотным летательным аппаратом, осуществляющим мониторинг технического состояния ВЛ 10 кВ при потере радиосвязи с наземным пунктом управления / В.А. Чернышов, А.Е. Семенов, Е.А. Печагин // В.И. Вернадский: Устойчивое развитие регионов: материалы Международной научно-практической конференции. В 5 Т.Т.4 (Тамбов, 7-9 июня 2016 г.). Изд-во ФГБОУ ВО ТГТУ. 2016. С.247-251

5. Пат. 2785445 РФ, МПК G05D 1/10, B64C 39/02, G01R 29/08. Способ завершения полета дрона в установленном районе аварийной посадки при осуществлении мониторинга состояния воздушной линии электропередачи в случае потери связи с наземным пунктом управления / Качанов А. Н., Печагин, Е. А., Беспалов А. В.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "ОГУ имени И.С. Тургенева". № 2021138020; заявл. 20.12.2021: опубл. 08.12.2022. – 8 с.

6. Пат. 2805304 РФ, МПК G05D 1/10, B64C 39/02, G01R 29/08. Способ обеспечения аварийной посадки беспилотного летательного аппарата в заданном районе при выполнении мониторинга воздушной линии электропередачи и потери связи с наземным пунктом управления / Качанов А. Н., Беликов Р.П., Беспалов А. В.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "ОГУ имени И.С. Тургенева". № 2021138021; заявл. 20.12.2021: опубл. 20.06.2023. – 8 с.

7. Колубанов, И.В. Использование магнитного поля воздушной линии электропередачи напряжением 10 кВ для аварийного управления беспилотным летательным аппаратом / И.В. Колубанов, В.А. Чернышов, А.А. Гребенников // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: Научно – технический журнал– 2023. – №1(357). – Орел: Издательство ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева. – С. 66-71. – 186 с.

**References**

1. Bykov, A.I. On some issues of legal regulation of flights of unmanned aerial vehicles on the territory of the Russian Federation / A.I. Bykov // Vestnik VSU. Series: Law. – 2018. No. 4. – P. 194-199

2. Concept of digital transformation 2030 [Electronic resource]. file:///C:/Users/pc/Desktop/Kontseptsiya\_Tsifrovaya\_transformatsiya\_2030.pdf (access date: 13/10/2023).

3. Belyaev, P.V. Prospects for the use of unmanned aerial vehicles in monitoring and diagnostics of energy facilities / P. V. Belyaev, A. P. Golovsky, D. S. Sadaev // Dynamics of systems, mechanisms and machines. – 2019. Volume 7, No. 2. – Omsk: Publishing house of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Omsk State Technical University”. – pp. 18-24

Chernyshov, V.A. A method for controlling an unmanned aerial vehicle that monitors the technical condition of a 10 kV overhead line in the event of loss of radio communication with a ground control point / V.A. Chernyshov, A.E. Semenov, E.A. Pechagin // V.I. Vernadsky: Sustainable development of regions: materials of the International scientific and practical conference. In 5 T.T.4 (Tambov, June 7-9, 2016). Publishing house of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education TSTU. 2016. P.247-251

5. Pat. 2785445 RF, IPC G05D 1/10, B64C 39/02, G01R 29/08. A method for completing a drone flight in a designated emergency landing area when monitoring the state of an overhead power line in case of loss of communication with a ground control point / Kachanov A. N., Pechagin, E. A., Bespalov A. V.; patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "OSU named after I.S. Turgenev". No. 2021138020; application 12/20/2021: publ. 12/08/2022. – 8 s.

6. Pat. 2805304 RF, IPC G05D 1/10, B64C 39/02, G01R 29/08. A method for ensuring an emergency landing of an unmanned aerial vehicle in a given area when monitoring an overhead power line and loss of communication with a ground control point / Kachanov A. N., Belikov R. P., Bespalov A. V.; Patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "OSU named after I.S. Turgenev". No. 2021138021; application 12/20/2021: publ. 06/20/2023. – 8 s.

7. Kolubanov, I.V. Using the magnetic field of a 10 kV overhead power line for emergency control of an unmanned aerial vehicle / I.V. Kolubanov, V.A. Chernyshov, A.A. Grebennikov // Fundamental and applied problems of engineering and technology: Scientific and technical journal – 2023. – No. 1 (357). – Orel: Publishing house of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “OSU named after. I.S. Turgenev. – P. 66-71. – 186 p.

**Информация об авторах**

В.А. Чернышов **–** канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования и энергосбережения.

М.О Пригодский – студент бакалавриата;

**Information about the authors**

V.A. Chernyshov – сandidate of sciences in technology, docent of Electric equipment and energy saving department.

M.O. Prigodsky – undergraduate student;

Статья поступила в редакцию \_\_\_.\_\_\_.2023; одобрена после рецензирования \_\_\_.\_\_\_.2023; принята к публикации \_\_\_.\_\_\_.2023.

The article was submitted \_\_\_.\_\_\_.2023; approved after reviewing \_\_\_.\_\_\_.2023; accepted for publication \_\_\_.\_\_\_.2023.