

УДК 629.7.05

АВТОНОМНЫЙ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС
КВАДРОКОПТЕРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
AUTONOMOUS FLIGHT AND NAVIGATION COMPLEX
OF A QUADROCOPTER FOR POWER LINES CONTROL

Шейников А. А., к-т техн. наук, доцент; Иваницкий Л. А.,
Военная академия Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь
Суходолов Ю. В., к-т техн. наук, доцент,
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь
A. Sheinikau, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
L. Ivanitski,
Military academy of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus
U. Suhodolov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

Аннотация. Представлена концепция автономного пилотажно-навигационного комплекса квадрокоптера для автоматического контроля линий электропередачи. Основу предлагаемого комплекса составляет бортовая многоспектральная система технического зрения, возможности которой обеспечивают одновременное осуществление автономной воздушной навигации носителя и роботизированного обследования линий электропередачи.

Abstract. The concept of a autonomous flight and navigation complex of a quadcopter for automatic power lines control is presented. The basis of the proposed complex is an onboard multispectral vision system, the capabilities of which provide simultaneous autonomous air navigation of the carrier and robotic inspection of power lines.

Ключевые слова: роботизированное обследование линий электропередачи, автономный пилотажно-навигационный комплекс квадрокоптера, бортовая многоспектральная система технического зрения.

Key words: robotic power lines control, autonomous flight and navigation complex of a quadcopter, onboard multispectral vision system.

ВВЕДЕНИЕ

Визуальный контроль (непосредственный и с использованием технических средств наблюдения) позволяет оценивать техническое состояние линий электропередачи (ЛЭП) без их отключений, что повышает надежность системы электроснабжения и качество электроэнергии. В настоящее время существует несколько способов обследования ЛЭП: пешие обходы, облеты на вертолете, контроль с помощью беспилотных летательных аппаратов (БЛА) (рис. 1). Последний способ наиболее эффективен в условиях большой протяженности сети ЛЭП Республики Беларусь (рис. 2). При этом

для автоматизации процесса обследования ЛЭП требуется обеспечение полета БЛА в соответствии с заданным маршрутом (над ЛЭП) без вмешательства оператора. Главной проблемой при автоматическом облете трасс с помощью БЛА являются помехи, обусловленные действием сильного электромагнитного поля (ЭМП) вокруг объектов контроля (ЛЭП) [1].



Рис. 1. Облет ЛЭП на вертолете и с помощью БЛА

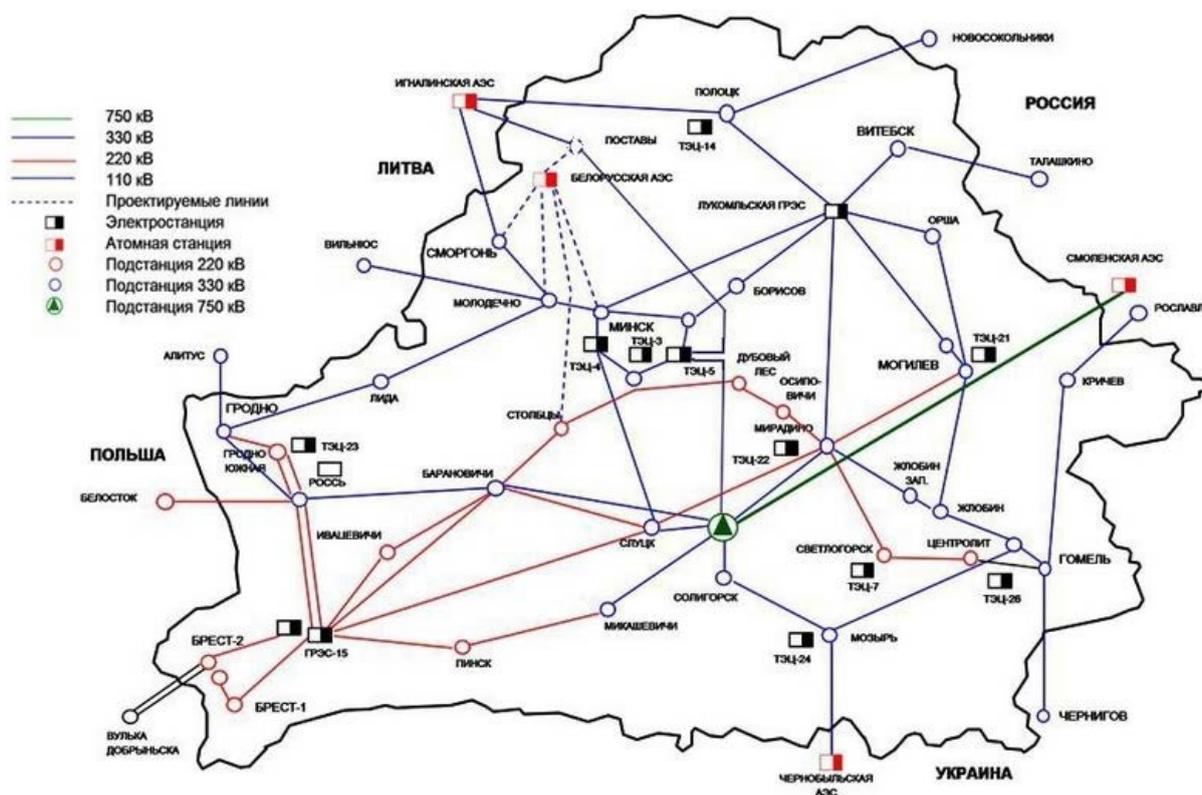


Рис. 2. Сеть ЛЭП Республики Беларусь

Дело в том, что основным способом определения навигационных параметров БЛА в настоящее время является использование спутниковых радиосигналов позиционирования. При этом бортовые радиоприемники БЛА в рассматриваемых условиях имеют низкую помехоустойчивость. В настоящее время ведутся исследования по разработке автономных систем навигации, не требующих наличия внешнего поля сигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС). Так, например, для рассматриваемой области разработан способ автоматического управления квадрокоптером с

использованием данных о напряженности электромагнитного поля в каждой точке пространства вокруг ЛЭП [2] (рис. 3). Этот способ обладает рядом недостатков, главными из которых являются необходимость установки на БЛА дополнительных датчиков, пропорционально снижающих вес полезной нагрузки, и сложность предполетной калибровки измерительных каналов. Требуется поиск альтернативного способа автономной воздушной навигации, лишенного перечисленных недостатков.

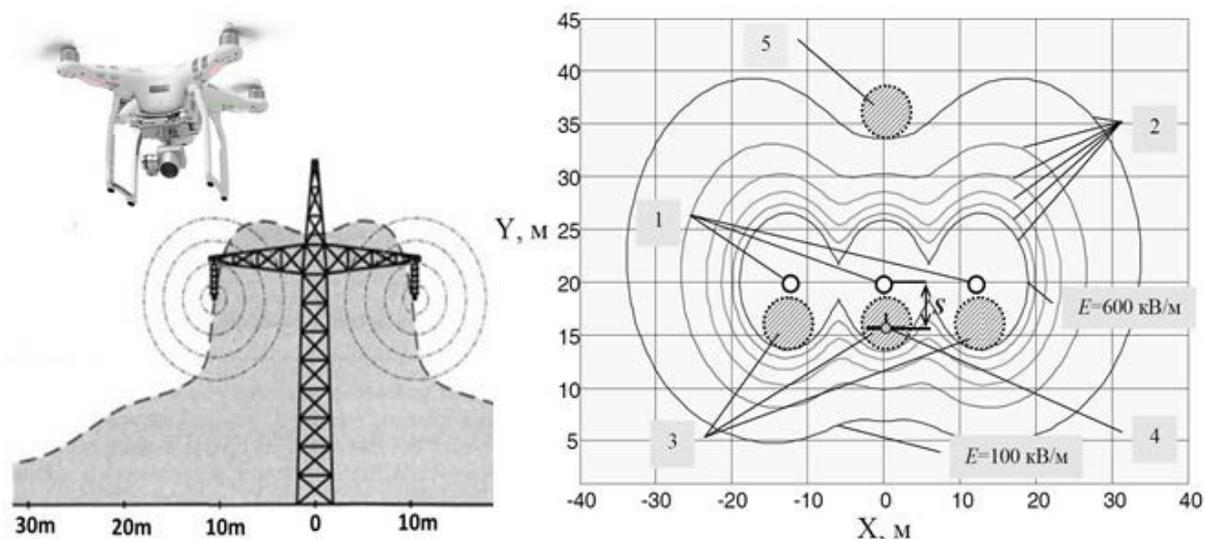


Рис. 3. Распределение напряженности ЭМП ЛЭП

Выход видится в использовании для этих целей потенциала полезной нагрузки квадрокоптера – бортовой оптико-электронной системы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В последнее время наметилась тенденция использования для обследования ЛЭП робототехнических комплексов, оснащенных системами технического зрения (СТЗ) с несколькими бортовыми цифровыми камерами (БЦК) различных спектральных диапазонов [3]. Так, например, с помощью БЦК, работающей в дальнем инфракрасном диапазоне, можно обнаруживать самые минимальные различия температур контролируемого оборудования (до 0,01 °С). Инфракрасная (ИК) съемка позволяет идентифицировать ненадежные контакты, перегретые участки, источники потерь энергии в сети и т. д. Кроме того, из-за своего активного сопротивления даже исправная ЛЭП рассеивает тепловую энергию в окружающее пространство, что хорошо обнаруживается с помощью ИК БЦК (рис. 4). Учитывая тот факт, что ЛЭП являются контрастными в различных диапазонах спектра электромагнитного излучения, однородными, протяженными объектами с известным направлением и достаточно резкими границами (рис. 5), их можно одновременно использовать и для целей воздушной навигации БЛА в качестве материальных линий заданного пути (ЛЗП).

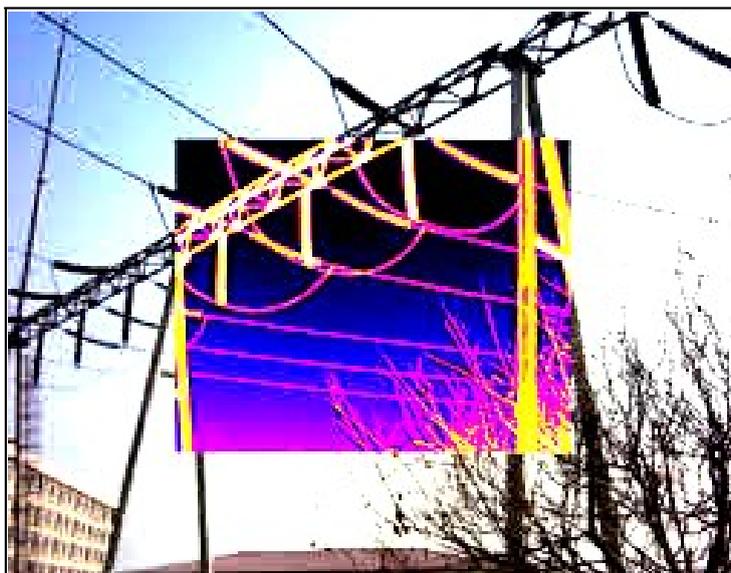


Рис. 4. Изображение ЛЭП в оптическом и инфракрасном диапазонах

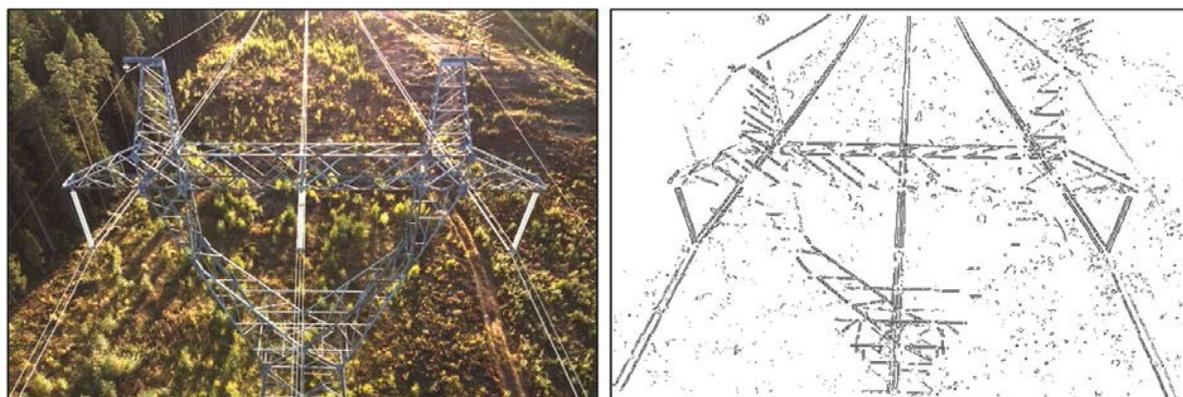


Рис. 5. Изображение ЛЭП, обработанное детектором (оператором обнаружения) границ

В этом случае алгоритм работы системы управления автономным полетом БЛА можно описать так (рис. 6):

1. Построение виртуальной ЛЗП – прямой, перпендикулярной верхней границе кадра и проходящей через центр матрицы цифровой камеры.
2. Оценка смещения физической ЛЗП относительно виртуальной (δ) в процессе горизонтального полета.
3. Коррекция значений управляющих сигналов автопилота с целью минимизации δ за счет изменения направления полета БЛА [4].
4. Оценка толщины маркерной линии (в пикселях), представляющей собой цифровое изображение (ЦИ) провода ЛЭП.
5. Коррекция значений управляющих сигналов автопилота с целью выдерживания заданной толщины маркерной линии на ЦИ (при постоянном фокусном расстоянии объектива БЦК) за счет изменения высоты полета БЛА (стабилизация высоты полета с использованием информации о толщине проводов на ЦИ ЛЭП).

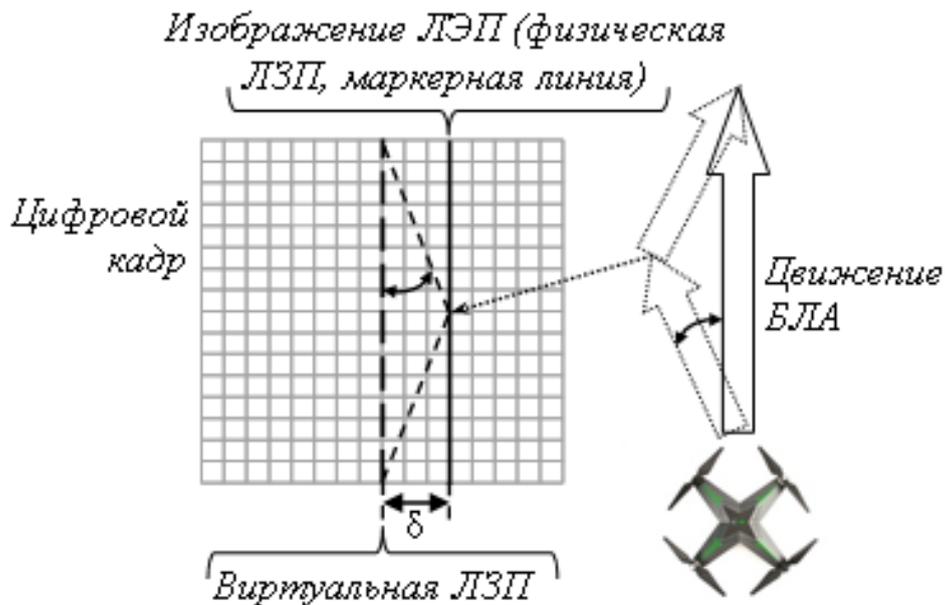


Рис. 6. Устранение автопилотом смещения виртуальной ЛЭП относительно физической

Надежность электроснабжения также во многом зависит от качества содержания просек под ЛЭП. Например, сильные ветра способны ломать деревья, провоцировать обрывы проводов и короткие замыкания, большое количество сухих деревьев повышает пожароопасность в районах прохождения ЛЭП, что также может стать причиной перебоев в электроснабжении. Заращение трасс значительно осложняет наземный контроль за их состоянием, делает труднодоступными аварийные участки, что способствует преждевременному выходу из строя элементов ЛЭП на продолжительное время. Для обеспечения надежности электроснабжения и эффективности обслуживания трасс требуется своевременная расчистка охранных зон ЛЭП. Информация о таких районах собирается в процессе периодического мониторинга трасс различными методами оптико-электронной технической разведки [5]. В связи с тем, что трассы ЛЭП являются контрастными, протяженными объектами с предсказуемым направлением и достаточно резкими границами, имеются возможности организации как автоматического полета БЛА над трассой (просеку можно использовать как проекцию воздушного коридора на земную поверхность), так и автоматического поиска проблемных зон [6] (с функцией отрисовки результатов расчета объемов вырубki) по данным от бортовой СТЗ (рис. 7).

Для одновременного контроля и навигации представляет интерес также трехмерное моделирование трасс ЛЭП (рис. 8). С одной стороны результаты сравнения реконструкций прошлых и текущих изображений трасс ЛЭП наиболее информативно отражают их изменения [5]. С другой – автономные навигационные комплексы мобильных робототехнических систем, использующие трехмерные цифровые модели местности в процессе автоматической локализации, считаются в настоящее время наиболее перспективными [7].

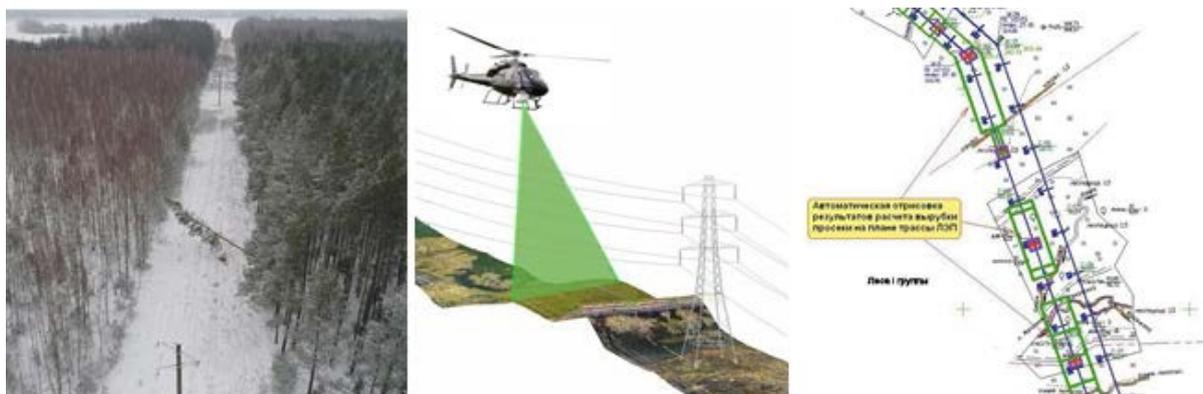


Рис. 7. Контроль зарастания коридора ЛЭП с использованием бортовой СТЗ БЛА

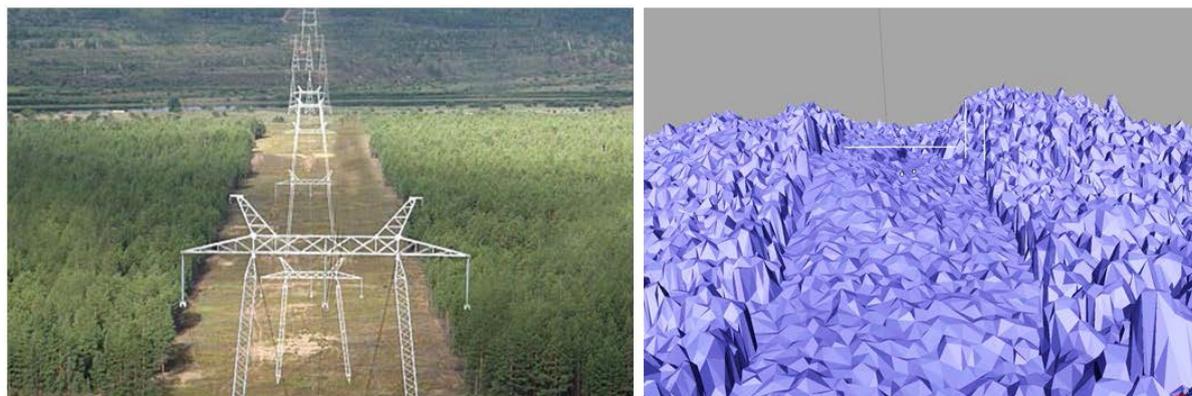


Рис. 8. Трехмерная модель трассы ЛЭП

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Достоинством представленного способа автоматического управления полетом БЛА является простота и эффективность его практической реализации. Предлагаемая комплексная бортовая система автономной навигации и контроля ЛЭП на базе бортовой СТЗ обеспечивает возможность точного позиционирования мест повреждений ЛЭП и зарастания просек. Результаты проведенных исследований можно отнести к технологиям двойного назначения, так как они, могут быть актуальными в условиях подавления противником сигналов СРНС (о чем свидетельствует опыт большинства современных военных конфликтов). При этом сеть ЛЭП можно использовать в качестве распределенного (рис. 2) наземного навигационного ориентира (обеспечивающего возможность реализации принципа «троллейбусной» навигации).

ЛИТЕРАТУРА

1. Соленая, О. Я. Характеристики и параметры технического состояния воздушных линий электропередачи / О. Я. Соленая [и др.] // Изв. ВУЗов. Приборостроение. – 2021. – Т. 64. – № 7. – С. 583–588.
2. Лебедев, Д. Е. Методы аэродиagnостики воздушных линий электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения / Д. Е. Лебедев // Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 155-летию со дня рождения К. Э. Циолк-

лвского: сб. мат. VIII Всероссийской науч.-техн. конф. / Сибирский федеральный ун-т. – Красноярск, 2012. – С. 42–46.

3. Solyonyj S. V. Robot for inspection and maintenance of overhead power lines / S. V. Solyonyj, O. Ya. Solenaya, V. P. Kuzmenko // Proc. of the 15th Intern. Conf. on Electromechanics and Robotics „Zavalishin's Readings“. – 2020. – P. 487–497.

4. Шейников, А. А. Коррекция ошибок инерциальной навигационной системы беспилотного летательного аппарата по данным бортовой цифровой камеры / А. А. Шейников, А. М. Коваленко // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2019. – № 1 (62). – С. 66–73.

5. Гордиенко, Л. В. Геоинформационная технология мониторинга просек линий электропередач / Л. В. Гордиенко // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 8. – С. 1–10.

6. Шейников, А. А. Использование математических функций библиотеки OpenCV для распознавания объектов воздушной разведки на изображении / А. А. Шейников, А. М. Коваленко // Актуальные вопросы исследований в авионике: теория, обслуживание, разработки: сб. мат. V Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 15–16 февраля 2018 г. / ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». – Воронеж, 2018. – С. 137–142.

7. Боковой, А. В. Система одновременного картирования, локализации и исследования неизвестной местности по видеопотоку / А. В. Боковой, К. Ф. Муравьев, К. С. Яковлев // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2020. – № 2. – С. 51–61.