

УДК 623.746.1:623.64:621.391.31

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2026-28-8

Решетило О. М., ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2555-4205>

Луцький національний технічний університет

МЕТОДИ БОРОТЬБИ З БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ОПТОВОЛОКОННИЙ КАНАЛ КЕРУВАННЯ

У статті розглянуто сучасні методи боротьби з безпілотними літальними апаратами, що використовують оптоволоконний канал керування. Проаналізовано принципи їх функціонування, технічні особливості, переваги та недоліки у порівнянні з радіокерованими безпілотними літальними апаратами. Визначено основні загрози, що створюють дані безпілотні літальні апарати для військових та цивільних об'єктів. Систематизовано методи протидії, що включають: фізичне знищення, механічне пошкодження каналу зв'язку, використання дронів-перехоплювачів та інженерні засоби захисту. Особливу увагу приділено перспективам використання Штучного інтелекту та автоматизованих систем виявлення.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат; оптоволоконний канал керування; антидронові технології; протидія БПЛА; радіоелектронна боротьба; захист об'єктів.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) суттєво змінив характер сучасних військових операцій та підходи до забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури. Особливу увагу останнім часом привертають БПЛА з оптоволоконним каналом керування, який забезпечує передачу команд і даних через фізичне волоконно-оптичне з'єднання між оператором та безпілотним апаратом. Така технологія дозволяє значно підвищити стійкість БПЛА до впливу засобів радіоелектронної боротьби, які традиційно є одним із ключових інструментів протидії безпілотним системам.

На відміну від класичних радіокерованих БПЛА, вони практично не залежать від радіочастотного середовища, що ускладнює їх виявлення, придушення та нейтралізацію існуючими антидроновими засобами. Це створює нові виклики для систем протиповітряної оборони, підрозділів безпеки та інженерного захисту об'єктів. Особливо актуальною ця проблема є в умовах сучасних бойових дій, де застосування таких технологій демонструє високу ефективність при виконанні розвідувальних, ударних та диверсійних завдань.

Наявні методи боротьби з БПЛА переважно орієнтовані на протидію радіокерованим БПЛА і не забезпечують належного рівня ефективності захисту від БПЛА з оптоволоконним каналом керування. У зв'язку з цим виникає потреба у розробленні та впровадженні нових підходів до виявлення, супроводу та знешкодження таких безпілотників, які повинні базуватися на комплексному поєднанні технічних, інженерних та організаційних рішень.

Таким чином, актуальність дослідження обумовлена необхідністю аналізу сучасних загроз, що пов'язані із застосуванням БПЛА з оптоволоконним каналом керування, та визначення ефективних методів боротьби з ними для підвищення рівня захисту військових і цивільних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика застосування та протидії безпілотним літальним апаратам (БПЛА), зокрема з оптоволоконним каналом керування, останніми роками стала предметом активних наукових досліджень як у військово-технічній, так і в цивільній сферах. Це обумовлено стрімким розвитком безпілотних технологій та появою нових технічних рішень, що дозволяють підвищити стійкість систем керування до впливу засобів радіоелектронної боротьби.

У фундаментальній праці Wang, Liu та Song здійснено комплексний огляд сучасних систем протидії БПЛА, де визначено основні напрями розвитку засобів виявлення, супроводу та нейтралізації БПЛА, включаючи акустичні, радіолокаційні, оптичні та фізичні методи знешкодження [1].

Поява БПЛА на оптоволоконному керуванні спричинила окремий напрям досліджень. У роботі Pham Minh Thang та Nguyen Van Hieu розглянуто технічні рішення переходу від традиційного радіокерування до волоконно-оптичних каналів передачі команд, що забезпечують високу завадостійкість, низьку затримку сигналу та захищеність інформації [2]. Подібні результати наведено у дослідженні Suleimenov та співавторів, де оптоволоконний канал розглядається як перспективний спосіб захищеного керування групами БПЛА [3].

Окрему увагу науковці приділяють практичному застосуванню таких систем у бойових умовах. У роботі Тутаренко та співавторів проаналізовано досвід України щодо використання БПЛА з оптоволоконним каналом керування, а також запропоновано нетрадиційні методи протидії таким загрозам, серед яких інженерні бар'єри, засоби фізичного враження та використання перехоплювачів [4].

У дослідженні Klushyn запропоновано концепцію комбінованого керування БПЛА в умовах активного застосування засобів радіоелектронної боротьби, де використання оптоволоконного каналу розглядається як ефективний інструмент забезпечення «тихого» керування без радіовипромінювання [5].

Перспективи розвитку засобів протидії, що пов'язані з використанням високотехнологічних систем ураження. Зокрема, дослідження українських науковців присвячені оцінці впливу лазерної зброї на композитні матеріали корпусів БПЛА, що підтверджує перспективність лазерних систем у складі антидронових комплексів [6].

Незважаючи на значну кількість публікацій у сфері протидії БПЛА, аналіз літературних джерел показує, що питання боротьби з БПЛА з оптоволоконним каналом керування залишаються недостатньо дослідженими. Більшість сучасних антидронових систем орієнтовані на нейтралізацію радіокерованих платформ, що обумовлює необхідність подальших досліджень, розроблення нових методів виявлення та знешкодження БПЛА даного типу.

Мета статті. Метою статті є аналіз сучасних загроз, пов'язаних із застосуванням БПЛА з оптоволоконним каналом керування, а також дослідження та систематизація існуючих методів боротьби з такими дронами для підвищення ефективності захисту військових і цивільних об'єктів.

Для досягнення поставленої мети визначено такі основні завдання дослідження:

- проаналізувати принципи функціонування та технічні особливості БПЛА на оптоволоконні;
- визначити основні переваги та недоліки БПЛА з оптоволоконним каналом керування порівняно з традиційними радіокерованими;
- дослідити основні загрози, які створюють БПЛА даного типу в умовах сучасних бойових дій та для об'єктів критичної інфраструктури;
- систематизувати існуючі методи виявлення та нейтралізації таких БПЛА, включаючи: фізичні, механічні, інженерні та автоматизовані засоби протидії;
- оцінити перспективи застосування сучасних технологій, зокрема штучного інтелекту, роботизованих комплексів та інтегрованих антидронових систем для підвищення ефективності боротьби з БПЛА.

Практична значущість дослідження полягає у можливості використання отриманих результатів для вдосконалення існуючих систем захисту, розроблення нових технічних рішень та формування ефективної стратегії протидії БПЛА з оптоволоконним каналом керування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасний розвиток БПЛА характеризується постійним вдосконаленням систем керування, навігації та передачі даних. Одним із нових напрямів розвитку є використання оптоволоконного каналу керування, який забезпечує передачу команд і телеметричної інформації через фізичний кабель, з'єднаний між оператором та БПЛА. Такий підхід дозволяє суттєво підвищити стійкість безпілотної системи до дії засобів радіоелектронної боротьби та ускладнює її виявлення традиційними методами.

Принцип роботи БПЛА з оптоволоконним каналом керування полягає у передачі команд через тонкий волоконно-оптичний кабель, який розмотується з котушки під час польоту апарата.

Завдяки цьому забезпечується:

- висока стійкість до радіоперешкод;
- захищеність каналу зв'язку від перехоплення;
- мінімальна затримка передачі сигналу;
- висока точність керування в складних умовах.

Разом із перевагами існують і обмеження, зокрема обмежена дальність польоту, ризик механічного пошкодження кабелю та зниження маневреності через фізичний зв'язок із пунктом керування.

Використання БПЛА з оптоволоконним каналом керування створює низку нових викликів для систем безпеки. Найбільш суттєвими з них є:

- неможливість ефективного придушення стандартними засобами радіоелектронної боротьби;
- зниження ефективності традиційних антидронових комплексів;

- складність раннього виявлення;
- можливість прихованого застосування на малих висотах;
- висока точність ураження цілей.

Практика сучасних бойових дій, зокрема досвід України, демонструє зростання використання таких систем для тактичної розвідки, доставки боєприпасів та виконання ударних завдань.

Ефективна боротьба з такими БПЛА починається з їх своєчасного виявлення. Основними методами (рис. 1) якого є:

- оптичне виявлення: застосування денних камер високої роздільної здатності дозволяє виявляти БПЛА на невеликих та середніх дистанціях;
- тепловізійний контроль: тепловізійні системи забезпечують виявлення БПЛА вночі та за умов обмеженої видимості;
- акустичне виявлення: аналіз характерного шуму електродвигунів та пропелерів дає змогу ідентифікувати БПЛА навіть за відсутності прямої видимості;
- інтелектуальні системи розпізнавання: перспективним напрямом є використання штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання для автоматичного виявлення і класифікації повітряних цілей.



Рисунок 1 – Методи боротьби з безпілотними літальними апаратами, що використовують оптоволоконний канал керування

Оскільки засоби радіопридушення для даного типу БПЛА є малоефективними, тому основними методами боротьби з ними (рис. 2) є:

- фізичне враження стрілецькою зброєю, зенітними установками, автоматизованими турелями та лазерними системами, що є найбільш перспективними через високу швидкість реагування та низьку вартість ураження;
- пошкодження оптоволоконного кабелю: механічне перерізання, створення загороджувальних конструкцій та використання спеціальних перехоплювальних систем;
- використання дронів-перехоплювачів є перспективним напрямом є створення спеціалізованих безпілотників, що здатні: переслідувати ціль, пошкоджувати кабель та застосовувати сітки або механічні захвати;
- інженерні методи захисту: антидронові сітки, укриття, захисні куполи та маскування інфраструктури. Такі рішення особливо ефективні для захисту стаціонарних військових позицій.

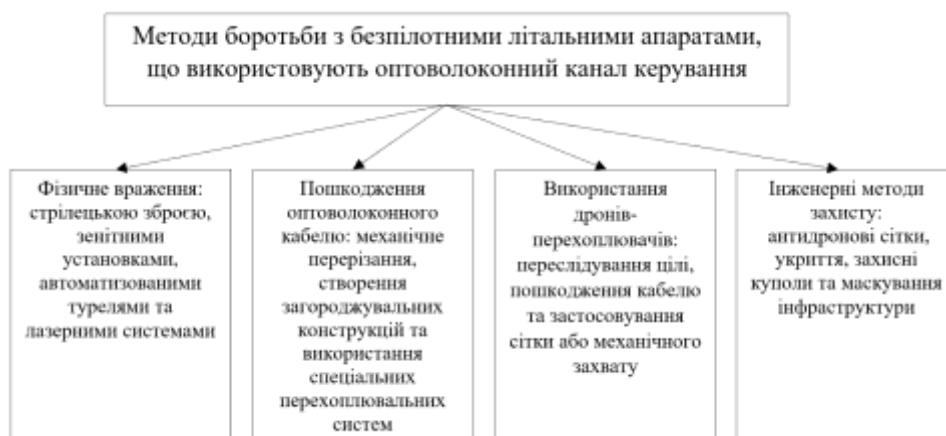


Рисунок 2 – Методи боротьби з безпілотними літальними апаратами, що використовують оптоволоконний канал керування

Подальший розвиток технологій боротьби з БПЛА з оптоволоконним каналом керування (рис. 3) пов'язаний із:

- створенням багаторівневих систем виявлення;
- інтеграцією машинного навчання у системи управління;
- застосуванням роботизованих комплексів;
- автоматизацією процесів прийняття рішень у режимі реального часу.



Рисунок 3 – Технології боротьби з безпілотними літальними апаратами, що використовують оптоволоконний канал керування

Найбільш ефективним підходом є побудова комплексної системи протидії, яка поєднує засоби раннього виявлення, автоматичного супроводу та швидкого фізичного знищення цілі.

Отже, боротьба з БПЛА з оптоволоконним каналом керування потребує перегляду традиційних підходів до антидронових захисту та впровадження нових технічних рішень, адаптованих до сучасних умов ведення бойових дій.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що БПЛА з оптоволоконним каналом керування є новим етапом розвитку безпілотних технологій, який суттєво змінює підходи до організації протидії безпілотним загрозам. Основною перевагою таких систем є висока стійкість до впливу засобів радіоелектронної боротьби, що значно ускладнює їх нейтралізацію традиційними методами, що орієнтовані на радіочастотне придушення.

У ході аналізу встановлено, що ефективна боротьба із БПЛА з оптоволоконним каналом керування потребує застосування комплексного багаторівневого підходу, який включає поєднання сучасних засобів виявлення, фізичного знищення, механічного пошкодження оптоволоконного каналу та інженерних методів захисту. Найбільш перспективними напрямками є використання автоматизованих систем виявлення, дронів-перехоплювачів, а також впровадження систем на основі штучного інтелекту для підвищення швидкості реагування та точності ідентифікації загроз.

Дане дослідження показало, що жоден окремий метод не забезпечує повного захисту від БПЛА даного типу, тому найбільш ефективним рішенням є інтеграція різних технічних засобів у єдину систему протидії, що здатна функціонувати в режимі реального часу та адаптуватися до змін тактичної обстановки.

Перспективи подальших досліджень будуть спрямовані на розроблення нових спеціалізованих антидронових систем захисту, удосконалення алгоритмів автоматичного розпізнавання цілей, а також створення мобільних комплексів протидії, що адаптовані до умов сучасних бойових дій і захисту об'єктів критичної інфраструктури, а також розробку нових конструкцій дронів-перехоплювачів та спеціальних технічних пристроїв для FPV-дронів для фізичного пошкодження БПЛА, що використовують оптоволоконний канал керування.

Інформаційні джерела

1. Wang J., Liu Y., Song H. Counter-Unmanned Aircraft Systems (C-UAS): State of the Art, Challenges, and Future Trends // arXiv. 2020. URL: https://arxiv.org/abs/2008.12461?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 14.05.2026). DOI: [10.1109/MAES.2020.3015537](https://doi.org/10.1109/MAES.2020.3015537)

2. Pham Minh Thang, Nguyen Van Hieu. Research on Fiber-Optic Communication Systems for Unmanned Aerial Vehicles // Journal of Military Science and Technology. 2024. URL:

https://jmst.mod.gov.vn/index.php/jmst/article/view/1908?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 14.05.2026). DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.208.2025.167-170>

3. Suleimenov B., Akhmetov D., Omarov B. Secure Fiber-Optic Communication Architecture for Cooperative UAV Systems // International Journal of Information Technology. 2025. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s41870-025-02719-2?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 14.05.2026). DOI: <https://doi.org/10.1007/s41870-025-02719-2>

4. Tytarenko O., Melnyk V., Horbachov M. Counteracting Fiber-Optic FPV Drones in Modern Warfare: Challenges and Solutions // Advanced Military Technology. 2025. URL: https://aimt.cz/index.php/aimt/article/view/1998?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 14.05.2026). DOI: <https://doi.org/10.3849/aimt.01998>

5. Klushyn D. Combined Control of Unmanned Aerial Vehicles under Active Electronic Warfare Conditions // Computer Systems and Networks. 2025. Vol. 7, No. 2. URL: https://science.lpnu.ua/csn/all-volumes-and-issues/volume-7-number-2-2025/combined-control-unmanned-aerial-vehicles-under?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 14.05.2026). DOI: <https://doi.org/10.23939/csn2025.02.084>

6. Analysis of Laser Weapon Effectiveness against UAV Composite Materials // DOAJ. 2024. URL: https://doaj.org/article/85c8bba9dc72487a96fdea836cbd4606?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 14.05.2026). DOI: <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2024-15-1-195-215>

UDC 623.746.1:623.64:621.391.31

Решетило О. М.

METHODS OF COMBATING UNMANNED AERIAL VEHICLES USING FIBER OPTIC CONTROL CHANNEL

The article considers modern methods of combating unmanned aerial vehicles using a fiber-optic control channel. The principles of their operation, technical features, advantages and disadvantages compared to radio-controlled unmanned aerial vehicles are analyzed. The main threats posed by these unmanned aerial vehicles to military and civilian facilities are identified. Countermeasure methods are systematized, including: physical destruction, mechanical damage to the communication channel, the use of interceptor drones and engineering protection. Special attention is paid to the prospects for the use of Artificial Intelligence and automated detection systems.

Keywords: *unmanned aerial vehicle; fiber optic control channel; anti-drone technologies; countering UAVs; electronic warfare; protection of facilities.*

Дата першого надходження
статті до видання
24.04.2026 р.

Дата прийняття статті
до друку
15.05.2026 р.

Дата
оприлюднення
30.05.2026 р.