

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ОПТОВОЛОКОННИХ БПЛА

Анотація. У роботі проаналізовано проблему забруднення довкілля оптичним волокном, яке активно використовується для забезпечення комунікації з БПЛА. Показано, що накопичення волокна на рослинах прямо впливає на їх ріст та становить небезпеку для тварин. Одночасно з прямим механічним впливом оптоволоконно створює хімічне забруднення через утворення мікропластику та виділення оксиду германію під час деградації.

Ключові слова: оптоволоконно, мікропластик, забруднення довкілля, забруднення ґрунтів, вплив на біоту.

Оптоволоконно або оптичне волокно являє собою гнучку нитку, зроблену зі скла кварцового типу, високої чистоти або з полімерів. Волокно забезпечує передачу інформацію у вигляді світлових імпульсів. Структура вміщує центральну серцевину та зовнішній оптичний шар, що має нижчий коефіцієнт заломлення, завдяки чому реалізується явище повного внутрішнього відбиття. Серцевину формують із діоксиду кремнію, до якого додають легуючі елементи, наприклад, германію оксид; цей елемент варіюється за діаметром від 8–10 мікрометрів для одномодових систем до 50–62,5 мкм для багатомодових; при цьому типовий зовнішній діаметр оболонки дорівнює 125 мкм. Незважаючи на свою гнучкість, матеріалу властивий підвищена ламкість.

Під час повномасштабного вторгнення оптоволоконно використовується для швидкої передачі інформації з дронів на пульт, яким керують оператори. Використовують волокно з метою створення швидкісної комунікації між безпілотними апаратами та апаратами дистанційного керування, що забезпечує нечутливість до систем радіоелектронного придушення.

Під час використання в польових умовах часто волокно чіпляється на рослини, руйнується та його фрагменти потрапляють у ґрунт та водойми. Видалення оптоволоконна є складною задачею за рахунок сили заплутування волокон та не є пріоритетним в умовах війни.

Руйнування та розрив оптичного волокна спричиняють вивільнення у довкілля мікрочастинок кварцового скла та полімерних сполук (мікропластику), які мають здатність до накопичення в ґрунтах і водних об'єктах. Завдяки невеликій масі ці фрагменти переносяться повітряними масами й інтегруються в трофічні ланцюги, проникаючи у тканини рослин та дихальні шляхи живих організмів. Фізичне пошкодження кабельних ліній на відкритій місцевості викликає утворення безладних мереж із синтетичних ниток, які механічно стримують ріст флори та формують пастки для представників орнітофауни й малих наземних хребетних. Тварини, потрапляючи в такі полімерні структури, мають ризик травмування або загибелі через подальше заплутування під час спроб звільнення. Хімічна стійкість скла у поєднанні з тривалим періодом розпаду пластикових оболонок зумовлює

довготривалий техногенний вплив на екосистеми, спричиняючи механічне засмічення середовища та біоаккумуляцію мікрочастинок у внутрішніх органах біоти.

За офіційними даними використання оптоволоконних БПЛА зафіксовано на усіх ділянках активного ведення бойових дій. Враховуючи стандартну вагу котушки такого кабелю (100 г на 1 км волокна), щільність засмічення оптоволоконном на деяких ділянках досягає до кілограма на км². Особливу небезпеку ці штучні нитки становлять для птахів під час гніздування, про що свідчать численні повідомлення у соцмережах. Хоча є і повідомлення про те, що даний матеріал птахи використовують для будівництва гнізд.

Механічне пошкодження, вплив ультрафіолету, вологи та кислотних дощів зменшує життя оптоволоконна у довкіллі з гарантованих виробником 20-30 років до орієнтовно 5-9. Ці дані є орієнтовними через те, що масове забруднення довкілля цим матеріалом почалось з весни 2024 року.

Також конкретні наслідки впливу цього виду забруднення суттєво залежить від локалізації: намотане на дерева волокно триматиметься досить довго, а на трав'янистий покрив у полях з настанням зими опуститься до рівня ґрунту і зазнаватиме більш інтенсивного впливу чинників довкілля. Внаслідок руйнування волокна крім оксидів кремнію, який є нейтральним для довкілля, виділяється германій. Діоксид германію має низьку токсичність, але у вищих дозах він проявляє нефротоксичний. Накопичення біологічно ефективних доз германію за цих умов є малоймовірним, але у випадку затяжної війни проблема буде наростати. Додаткове занепокоєння викликає здатність германію вбудовуватись в організм замість кремнію, що призводить до незворотних змін у функціонуванні мікроорганізмів, перш за все діатомових водоростей.

Таким чином, забруднення довкілля оптичним волокном є новим серйозним викликом і потребує ретельного дослідження для оцінки екологічних ризиків та пошуку шляхів мінімізації негативних наслідків.

Список використаної літератури

1. Hodzic, M. (2020). Aging and Degradation of Optical Fiber Parameters in a 16-Year-Long Period of Usage. *Fiber and Integrated Optics*.
2. Ćubrić, I. S., Ćubrić, G., Katić Križmančić, I., & Kovačević, M. (2022). Evaluation of changes in polymer material properties due to aging in different environments. *Polymers*, 14(9), 1682.
3. Shi, Y., Shi, L., Huang, H., Ye, K., Yang, L., Wang, Z., ... & Gao, S. (2024). Analysis of aged microplastics: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 22(4), 1861-1888.

Науковий керівник – М. М. Радомська к.т.н., доц.