

### **Оптимізація енерговитрат прийом-передавального обладнання БПЛА для підвищення ступеня захищеності комплексу**

*Запропонована модель оптимізації енерговитрат інтегрованої системи малопотужних БПЛА для підвищення ймовірності якісного виконання функцій комплексом. Результати моделювання демонструють характер залежності сумарної потужності обладнання від властивостей середовища*

В умовах сучасного застосування БПЛА критичним фактором є їх здатність залишатися непоміченими під час виконання поставлених завдань. Одним з основних чинників, що впливає на ступінь захищеності системи, є контроль рівня радіовипромінювання, що генерується прийом-передавальним обладнанням для забезпечення зв'язку між вузлами комплексу. Особливого значення це набуває під час розробки інформаційних технологій штучного інтелекту інтегрованих нейрокомп'ютерних систем, що встановлюються на борту надлегких безпілотних літальних апаратів, де існують значні обмеження щодо допустимого рівня енерговитрат обладнання, яке забезпечує інтеграцію вузлів системи [1]. Значний відсоток енерговитрат припадає саме на прийом-передавальне обладнання комплексу БПЛА, яке використовується для забезпечення функціонування телекомунікаційної інфраструктури [2].

Варто зазначити, що незалежно від використаної інформаційно-телекомунікаційної технології, переваги від інтеграції компонентів та забезпечення швидкого обміну даними в межах системи можуть бути нівельовані через зростання ймовірності демаскування комплексу внаслідок зростання інтенсивності електромагнітного випромінювання прийом-передавального обладнання [3].

У доповіді представлено модель для оцінки величини загальних енерговитрат прийом-передавального обладнання нейрокомп'ютерної системи, архітектура якої подібна до мережі Хопфілда, де передбачено можливість наявності аномалії у вигляді відсутності прямих зв'язків між окремими вузлами системи. Це, у свою чергу, дає змогу підвищити ефективність виконання завдань комплексом БПЛА завдяки зростанню рівня інтеграції системи, водночас знижуючи ризик демаскування за рахунок зменшення інтенсивності радіовипромінювання прийом-передавальним обладнанням.

Метод навчання нейронної мережі реалізує стандартну функцію навчання, враховуючи той факт, що енерговитрати на підтримку зв'язку прийом-передавальним обладнанням нейрокомп'ютерної системи виникають лише за умови наявності прямої точка-точка комунікації між парою вузлів [4]. Запровадивши припущення щодо характеру затухання сигналу в комунікаційному середовищі та характеру залежності загальних енерговитрат від потужності прийом-передавального обладнання елементів

нейрокомп'ютерної системи, вдалося розробити спрощену нормативну модель в межах задач блокового лінійного програмування [5].

Вихідними даними для визначення параметрів моделі є інформація про поточне розташування кожного з  $m$  елементів нейронної мережі, встановлених на борту взаємодіючих БПЛА, компоненти якої розташовані в тривимірному просторі.

Синтезована модель налаштована на такі критерії ефективності:

- мінімізацію ймовірності виявлення трафіку зовнішніми засобами радіорозвідки, що може призвести до зменшення ефективності комплексу БПЛА;

- максимізація ступеня інтегрованості системи, забезпечуючи максимальну ймовірність успішного виконання завдань комплексом БПЛА шляхом збереження інтегрованості та необхідного міжкомпонентного обміну даними.

Тобто маємо векторний критерій:

- [Ймовірність виявлення мережевого трафіку інтегрованої системи БПЛА]  $\rightarrow \min$ ;

- [Рівень інтегрованості системи]  $\rightarrow \max$ .

Для зняття невизначеності у критеріях використано спосіб виділення головного критерію та врахування інших в обмеженнях.

Головним параметром, який опосередковано визначає кількісні значення першого із зазначених критеріїв є потужність прийом-передавального обладнання комплексу.

Розроблена модель формалізує пошук мінімального значення сумарної потужності прийом-передавального обладнання при збереженні необхідного ступеня інтегрованості системи.

Функція мети має наступний вигляд:

$$P_{\Sigma} = C * P,$$

де  $C$  - вектор-рядок, розмірністю  $(1 * m)$ ;

$P = (P_1, P_2, P_3 \dots P_m)^T$  - вектор-стовпчик, розмірністю  $(m * 1)$ .

Обмеження які накладаються на модель:

$$P \geq 0,$$

$$A * P \geq L(k),$$

де  $L(k)$  - вектор-стовпчик, розмірністю  $(m^2 * 1)$ ;

$A$  - блочно-діагональна матриця, розмірністю  $(m^2 * m)$ ;

$k$  - константа, яка визначає характеристики комунікаційного середовища.

Дослідження моделі було здійснено за допомогою інструментарію *Python* та наступних модулів: *numpy*, *pulp*, *random*, *constants*, *scipy*, *matplotlib* та інших.

Рисунок демонструє характер залежності мінімально необхідної загальної потужності прийом-передавального обладнання БПЛА від властивості (параметр  $k$ ) комунікаційного середовища.

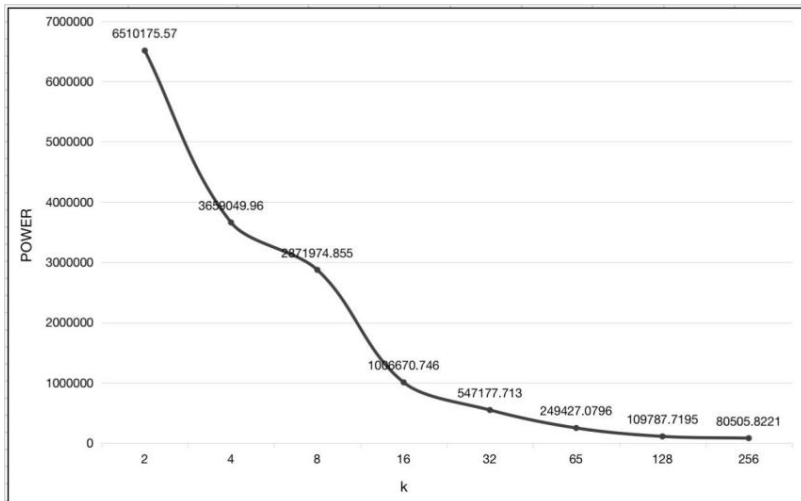


Рис. 1. Залежність сумарної потужності обладнання від властивості комунікаційного середовища

### Висновок

Запропонована в роботі модель розрахунку мінімально-допустимого значення загальної потужності прийом-передавального обладнання БПЛА дозволяє мінімізувати ймовірність виявлення комплексу зовнішніми засобами радіорозвідки при збереженні задовільного рівня інтегрованості системи.

### Список літератури

1. Pechurin M.K., Boyarinoва Yu.Ye., Kondratova L.P., Voronin M.G., Sirenko M.A. (2022). Models of the topologies for the weak-emitting telecommunication system of interacting UAVs. *Problems of Informatization and Management*, 4(72), 48-54.
2. Abubakar A.I., Ahmad I., Omeke K.G., Ozturk M., Ozturk C., Abdel-Salam A.M., Mollet M.S., Abbasi Q.H., Hussain S., Imran M.A. (2023). A Survey on Energy Optimization Techniques in UAV-Based Cellular Networks: From Conventional to Machine Learning Approaches. *Drones*, 7(3), 214.
3. Na Y., Li Y., Chen D., Yao Y., Li T., Liu H., Wang K. (2023). Optimal Energy Consumption Path Planning for Unmanned Aerial Vehicles Based on Improved Particle Swarm Optimization. *Sustainability*, 15(16), 12101.
4. Zhang Z., Zhou Y., Zhang Y., Qian B. (2024). Strong Electromagnetic Interference and Protection in UAVs. *Electronics*, 13(2), 393.
5. Dlask T. (2023). Block-coordinate descent and local consistencies in linear programming. *Constraints*, 28, 69-70.