

*В.М. КАНЦЕДАЛ, канд. техн. наук*

## **ПОЛІПШЕННЯ РІВНЯ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВНИХ ЕТАПАХ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ПРОТИДІЇ МАЛИЙ БЕЗПЛОТНИЙ АВІАЦІЙНИЙ СИСТЕМИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КОНФЛІКТНИХ ПЕРЕВАГ**

### **Вступ**

На даний час актуально вирішення проблеми підвищення на тактичному рівні ефективності радіоелектронної протидії наземних комплексів РЕП загрозам, що несуть малі беспілотні авіаційні системи (БАС) з використанням їх специфіки та тактики застосування [1 – 10]. В тексті розглядаються малі БАС, що наводять розвідувально-ударні БПЛА типу Суперкам чи Ланцет [3, 4] при їх проникненні у тил на відстань від 10 до 100 км для ураження важливих об'єктів. Ефективність їх застосування при об'єктовій обороні залежить від можливостей радіоелектронної протидії комплексу РЕП. Значні загрози застосування малих безпілотників викликають необхідність удосконалення засобів радіоелектронної протидії та їх застосування з підвищенням вимог до їх тактико-технічних характеристик (ТТХ).

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Велика кількість праць, зокрема [1 – 7], присвячена опису різноманітних факторів, що впливають на ефективність функціонування БПЛА. У ряді робіт розглядаються засоби протидії БПЛА у вигляді структур типових спеціалізованих комплексів протидії БПЛА, огляд яких виконано в [1, 5, 8, 9]. Для цих структур переважним є виявлення сигналів радіочастотного каналу передачі даних між оператором та БПЛА, а радіоелектронна протидія здійснюється глушінням або заміною інформаційних повідомлень каналу передачі даних та радіоліній навігації в умовах маніпулювання БПЛА стандартними каналами передачі даних. Типові комплекси РЕП мають обмежені можливості проти загроз сучасних типів малих БПЛА. Вони працюють до того часу, поки безпілотник залежить від каналу передачі, а пасивні засоби розвідки комплексу розпізнають їх сигнали. Коли безпілотник працює автономно і в режимі радіомовчання, не вимагаючи каналу передачі даних, ці комплекси не будуть ефективними.

Тому розглядається більш досконала структура комплексу РЕП, що відповідає загальним тенденціям розвитку радіоелектронної протидії [1, 5, 6, 8, 10] і реалізує методи виявлення та нейтралізації загроз малих безпілотників. Вона заснована на об'єднанні маловисотного радіолокатора з пасивними радіочастотними розвідувальними засобами для більш достовірного виявлення малого БПЛА, точного визначення його сигнатур та з засобами його сигнального фізичного або прихованого інформаційного придушення, що мають підвищені ТТХ на основних етапах функціонування комплексу РЕП. До складу цих етапів входять три послідовних етапи: етап пошуку, виявлення і визначення сигнатур малого БПЛА та формування даних, необхідних для управління засобами розвідки та придушення; етапи фізичного сигнального та прихованого інформаційного придушення БПЛА. Вони характеризуються ситуаційним управлінням різними видами засобів розвідки, генерації та постановки різних видів загороджувальних за частотою та часом, імітаційних активних завад, сигналоподібних та інформайіно-технологічних впливів, їх можливих комбінацій із виваженням та спільним використанням сукупних вразливостей окремих ліній зв'язку його командної радіолінії управління (КРУ) та навігації місцевої ССРН. Це супроводжується перенесенням зусиль з глушіння на більш ефективні та конфліктно стійкі в умовах протидії БПЛА та зовнішніх заводових чинників [1, 10] – цілеспрямоване перехоплення сигналів та підміни (спуфінгу) їх інформаційних повідомлень, що не завжди відбувається у традиційних комплексах РЕП. Таким чином, доводиться мати справу з певними сигнатурами малих БПЛА як об'єктів засобів радіолокаційної, радіотехнічної та радіоелектронної розвідки. Сигнатури мають вигляд

відповідно до потреб сукупності задач придушення БПЛА, що послідовно вирішуються: дані локації виявленого малого БПЛА – його просторово-часового розташування в зоні відповідальності комплексу РЕП та траєкторних ознак розпізнавання, структурно-частотного портрету загальної електромагнітної обстановки (ЕМО) та структурно-інформаційного портрету сукупності інформаційних повідомлень і протоколів інформаційного обміну (СППІО) БПЛА різного ступеня невизначеності, створених сукупністю його ліній радіозв'язку та радіонавігації.

В комплексі РЕП приймається на етапах його функціонування велика кількість різноманітних рішень стосовно між етапного та внутрішньо етапного ситуаційного управління. Вони різняться за змістом, термінами дії та розробленням, спрямованістю впливу, інформаційною забезпеченістю, використанням ресурсів, рівнем прийняття рішень тощо. У зв'язку з цим виникає потреба в упорядкуванні рішень та підвищенні керованості комплексу РЕП.

Одним із можливих напрямів, що сприяє ефективному вирішенню проблем радіоелектронного придушення БАС, є використання комплексного підходу, пов'язаного з підвищенням керованості засобів комплексу РЕП внаслідок поліпшення рівня системної формалізації опису стану конфліктної ситуації та процесів ситуаційного управління на основних етапах його функціонування як засобів її вирішення. Для цього розглядається спрощена 2-стороння динамічна модель конфліктної взаємодії малої БАС і одноцільового комплексу РЕП. Її основою є інформаційний опис стану конфліктної ситуації (КС), що базується на взаємодії складових частин структур багатофункціональних зразків технічної побудови малої БАС і комплексу РЕП узгоджено до уразливості малої БПЛА. Опис стану КС надається через зміну протистояння критично важливих для БАС і комплексу РЕП їх приватних ТТХ на етапах його функціонування з урахуванням впливу особливостей побудови малої БАС і комплексу РЕП та тактик їх застосування [10]. Конфліктна взаємодія малої БАС і комплексу РЕП характеризується керованими процесами взаємодії їх складових частин, які можна перевести в потрібний стан шляхом докладання цілеспрямованого впливу, що керує, на ці компоненти за кінцевий інтервал часу. Зі сторони комплексу РЕП [10] конфлікт керується в мінливій обстановці загроз БПЛА алгоритмами радіоелектронної протидії контурів циклів міжетапного та внутрішньоетапного ситуаційного управління, що включають відповідні інформаційні, управляючі та виконавчі засоби.

Інформаційний опис вхідних складових поточного стану КС у вигляді наведених сигналів БПЛА залежить від ступенів їх невизначеності, потреб етапів функціонування комплексу РЕП, а також від складу певних ключових приватних ТТХ БПЛА і комплексу РЕП та їх співвідношення на окремих етапах. Оскільки з часом склад і зміст стану КС змінюється під дією управління, уточнюється знання про загрозу БПЛА та результати радіоелектронної протидії в обмеженнях 2-сторонньої моделі динамічного конфлікту, що розглядається, то це робить необхідним в ході конфлікту синтезувати і коригувати закони циклів управління процесами вирішення функціональних завдань на етапах функціонування комплексу РЕП та координації його дій. Їх метою є адаптація контурів управління до поточної загрози БПЛА та забезпечення найкращих можливостей її нейтралізації, в тому числі нав'язування БПЛА хибних режимів польоту за допомогою інформаційно-технологічних впливів в рамках внутрішньо етапного та між етапного ситуаційного управління.

Аналіз відомих публікацій показав відсутність публікацій, присвячених побудові циклів міжетапного та внутрішньоетапного ситуаційного управління процесами радіоелектронної протидії малій БАС з комплексним використанням приватних ТТХ та значень їх показників як системного інструменту формалізації процесів спостереження та прийняття рішень.

Метою статті є досягнення конфліктних переваг комплексу РЕП за рахунок поліпшення рівня формалізації процесів забезпечення результативності на етапах внутрішньоетапного ситуаційного управління. При цьому беруться до уваги загрози та специфіка побудови і застосування технічних зразків багатофункціональної малої БПЛА та комплексу РЕП, обґрунтований вибір складу та оптимізація порядку застосування ефективних технічних виконав-

чих засобів розвідки та придушення у контурах циклів управління ними з використанням критично важливого для БАС та комплексу РЕП переліку приватних ТТХ та їх показників.

### **Виклад основного матеріалу**

Цикл між етапного та цикли внутрішньо етапного когнітивного ситуаційного управління комплексом РЕП є начальними особливостями формалізації процесів управління в системі автоматизованого управління (САУ) комплексом РЕП. Вони полягають у необхідності дотримуватися певного рівня формалізації постановок завдань управління та пошуку їх вирішення на основних етапах функціонування комплексу РЕП. Це дозволяє одночасно розглянути аналіз (оцінку) умов застосування виконавчих засобів контурів управління САУ, їх призначення та порядок застосування та, як наслідок, реалізацію синтезованих законів управління за допомоги швидкої та гнучкої перебудови (реконструкції) структури комплексу РЕП для досягнення поставленої мети управління на окремих етапах його функціонування та в цілому. При цьому важливим фактором є час, який звітує від моменту раннього виявлення та аналізу загроз БПЛА і необхідний для своєчасного вибору способів протидії та їх застосування, щоб не дати БПЛА якомога ближче наблизитися до об'єкту враження та завдати максимально точного удару. Це є загальним завданням циклу міжетапного когнітивного ситуаційного управління. Він спрямований на максимальну сумісну результативність етапів функціонування, налаштування синергії вжитих зусиль на цих етапах. Даний цикл характеризується особливостями їх послідовної зміни, пов'язаних з використанням певних вразливостей БАС, комплексуванням контурів циклів управління етапними виконавчими засобами на основі узгодження їх ТТХ в умовах різного ступеню невизначеності стану КС, високої динамічності виконуваних функціональних завдань та можливій протидії малого БПЛА. Результативність цього циклу полягає в тому, щоб зробити малий БПЛА не тільки некерованим (порушити роботу його КРУ), але і доступним для перехоплення його управління та отримання контролю над траєкторією його польоту (наприклад, для подачі команди на посадку або зміни курсу його польоту, або для відведення його від об'єкту враження при використанні ним наведення на джерела випромінювання) при фізичному сигнальному або прихованому інформаційному видах радіоелектронного придушення.

У зв'язку з цим потрібно здійснювати постійний контроль витрачання часу на реалізацію цілей функціональних завдань на етапах функціонування комплексу РЕП. Контроль часу також необхідний при оцінці інтервалу стабільності конфліктної ситуації, інтервалу часу існування корисної інформації з інформаційних повідомлень БПЛА і таке інше.

Направленість циклів внутрішньо етапного когнітивного ситуаційного управління полягає в виявленні, аналізі та використанні різних сторін вразливості БАС. При чому БАС характеризується малим розміром БПЛА, конструкція якого виконана за технологією Stealth, малою висотою польоту, малою швидкістю, маневреністю та віддаленістю від наземного пункту управління (НПУ). Сигнатури ЕМО та СШППШО залежать від:

- наявності суттєвих відмінностей ТТХ ліній радіозв'язку напрямків НПУ-БПЛА, БПЛА-НПУ та навігації БПЛА [5], які враховують передачу інформаційних даних принципово різного типу, рівня важливості та обсягу. Лінії радіозв'язку БПЛА можуть організовуватися в різних частотних діапазонах, використовувати різні сигнально-кодові конструкції, спеціально адаптовані під тип і важливість інформаційних повідомлень, що передаються;

- впливу змін параметрів роботи КРУ БПЛА, викликаних змінами: взаємного розташування БПЛА та НПУ, параметрів середовища розповсюдження сигналу (вид модуляції, кодування, швидкість передачі даних та ін.) залежно від умов проходження сигналу, що дозволяє більш ефективно використовувати енергетичний ресурс каналів зв'язку та багаторазово підвищувати ефективність роботи КРУ БПЛА;

- впливу змін взаємного розташування БПЛА та засобі розвідки і придушення, а також змін ТТХ останніх внаслідок керування ними, коли комплекс РЕП знаходить та досліджує на своїх етапах функціонування різні сторони уразливості БАС, долає такі її ТТХ як розвідува-

льна, завадо- та імітозахищеності, що має відношення до малопомітності БПЛА, сигналів його КРУ, радіонавігації та переданих інформаційних повідомлень.

Цей вид управління БПЛА є основою для побудови між етапного ситуаційного управління.

Наступні особливості формалізації полягають у виділенні та аналізі впливів загальних та відмінних властивостей процесів внутрішньо етапного управління.

Так, до *загальних чинників*, що суттєво впливають на його ефективність, відносяться:

- склад і багатофункціональна побудова комплексу РЕП, що реалізує базові принципи вирішення проблемних завдань, які розглядаються на основних його етапах роботи узгоджено до уразливості технічних зразків малого БПЛА та БАС в цілому;

- подання конфліктних ситуацій БПЛА (БАС) та комплексу РЕП як протидії їх приватних ТТХ на етапах його функціонування з урахуванням впливу особливостей малої БАС і комплексу РЕП та тактик їх застосування;

- застосування системно-процесного, когнітивного підходу до управління та рефлексивної форми управління, що спирається на знання про 2-сторонню динамічну модель конфліктної взаємодії БАС та комплексу РЕП, високий рівень професійних компетенцій суб'єктів (операторів) управління, а також наявність у структурі інформаційних та керуючих засобів контурів управління, засобів штучного інтелекту та автоматизації;

- використання методичних переваг формалізованих постановок завдань ситуаційного управління та пошуку їх рішень на основі використання переліку критично важливих для БАС і комплексу РЕП приватних ТТХ в умовах невизначеності стану конфліктних ситуацій та обмежень на витрати ресурсу, що пов'язані із застосуванням певного ряду цілей, критеріїв та вибору способів вирішення завдань в інформаційних, керуючих та виконавчих засобах контурів циклів управління на окремих етапах функціонування комплексу РЕП.

Так, на всіх етапах функціонування комплексу РЕП прийнята стандартна постановка завдання когнітивного управління реалізацією конфліктних переваг та порядок пошуку рішень, що орієнтовані на отримання якісного інформаційного опису загального поточного стану КС, результативностей певного складу задіяних засобів розвідки чи придушення, виконанні дій щодо зближення показників їх фактичних станів з очікуваними відповідно до мети, критерію управління та задоволення вимог щодо дефіциту часу на прийняття управлінських рішень, раціонального використання ресурсів, скорочення їх витрат та врахування впливу суб'єктності кризового управління. Постановка завдання управління та пошук рішень здійснюється за виразом [10 – 12]:

$$Q_{jik} | S^M - S^\Phi |_{jik} \rightarrow \text{extr}, R_j \rightarrow \min, T_j \leq T_{j\text{-доп}}, \quad (1)$$

де  $Q_{jik}$  – складний критерій якості управління з урахуванням характеристик та особливостей кожного етапу (наприклад, результативності як зіставлення очікуваних значень ТТХ та фактично отриманих;  $j$  – номер етапу функціонування комплексу РЕП;  $i$  – складова опису стану КС або засобів розвідки чи придушення;  $k$  – номер циклу управління  $i$ -ю складовою стану КС, або засобів розвідки чи придушення на  $j$ -му етапі;  $|S^M - S^\Phi|$  – різниця між очікуваними показниками і фактичними показниками якості інформаційного опису складових стану КС, або результативності задіяних засобів розвідки чи придушення на етапі, досягнутого на даний момент часу внаслідок реалізації синтезованого закону управління перебудовою структури комплексу РЕП, а також контролю умов спостереження та результату управління із зазначенням кількісних характеристик ступеня досягнення мети управління;  $R_j$  – вектор, що характеризує види витрат ресурсів, що є у розпорядженні комплексу РЕП на даний момент часу;  $T_{j\text{-доп}}$  – допустимий час синтезу та реалізації закону управління та координації дій.

Рішення завдань управління на кожному етапі виробляються з застосування принципу спільної реалізації функцій: пізнання стану КС, керування необхідними для досягнення мети засобами, керування використанням проблемно-орієнтованих знань, ресурсів у циклі ситуаційного управління. Керування стосується:

– засобів радіолокаційної, радіотехнічної та радіоелектронної розвідки для виявлення БПЛА, отримання ситуаційної обізнаності, аналізу та прогнозу характеру змін результатів розвідки сигнатур БПЛА, оцінки ступеню його загрози, формування в реальному часі даних необхідних для цілепокладання та синтезу закону управління засобами розвідки та радіоелектронної протидії БПЛА;

– комплексного призначення режимів роботи виконавчих технічних засобів контурів управління;

– реалізації синтезованих законів управління швидкою та гнучкою перебудовою структури комплексу РЕП, активації призначених засобів та контролю кількісних характеристик ступеня досягнення мети управління відповідно до прийнятих управлінських рішень.

При цьому до інформаційних та керуючих засобів контурів ситуаційного управління пред'являються типові вимоги [1, 6, 11], водночас вимоги до виконавчих засобів суттєво відрізняються.

Шукані матричні рішення є результатом застосування, залежно від невизначеності умов спостереження та прийняття рішень:

*для формалізованих завдань управління з застосуванням засобів автоматизації та штучного інтелекту:* логіко-оптимальні; логіко-лінгвістичні, експертні, машинно-навчених нейро-нечіткі мережі;

*для важко формалізованих завдань управління:* інтерпретаційно-дослідні з урахуванням суб'єктності управління.

Відмінні характеристики процесів циклів внутрішньо етапного управління досліджуються нижче при розгляді окремих етапів управління.

### **1. Цикли ситуаційного управління пошуком та виявленням БПЛА, вимірюванням параметрів його сигнатур та формуванням даних, необхідних для керування засобами різних видів розвідки та радіоелектронної протидії**

Розгляд на даному етапі особливостей підвищення рівня системної формалізації процесів управління пошуком, виявленням малого БПЛА та розвідки його характеристик, необхідних для організації радіоелектронної протидії, починається з інформаційного опису складових КС. Конфліктна ситуація при цьому відображає стан пізнання комплексом РЕП ситуаційної обізнаності в зоні відповідальності комплексу РЕП відносно стану 2-сторонньої динамічної моделі конфліктної взаємодії складових частин багатофункціональних структурних схем комплексу РЕП і малої БАС в залежності від розвідувальної захищеності БПЛА. Ситуаційна обізнаність дозволяє комплексу РЕП ефективно сприймати, аналізувати та реагувати на ситуації, що виникають під час виконання завдань протидії польоту БПЛА. Вона охоплює розуміння загроз стану навколишнього середовища, в якому БПЛА здійснює політ, виявлення протидії БАС чи зовнішніх завадових чинників, які можуть впливати на ефективність та безпеку комплексу РЕП.

Приватні ТТХ БПЛА у складі показників його розвідувальної захищеності як об'єкта локалізація за напрямом, висотою, дальністю та швидкістю та об'єкта сигнатур його ліній зв'язку КРУ та навігації місцевої ССРН, що використовує БПЛА (таблиця, етап 1), залежать від певних приватних ТТХ відповідно: надширокосмугової (НШС) оглядової маловисотної РЛС та пасивного пеленгатора з кутовим різницево-далекомірним методом вимірювання; засобів радіотехнічної та радіоелектронної розвідки зі складу комплексу РЕП. Розвідувальні засоби пасивного виявлення радіочастот радіоліній передачі даних є важливими складовими частинами захисту від повітряних загроз БАС як джерела даних для радіоелектронного придушення цих радіоліній. Вони також є однією з небагатьох можливостей безпосереднього визначення місцезнаходження НПУ, моніторингу того, на що дивиться його оператор, та взяття під контроль траєкторію польоту безпілота. Аналіз розвідувальної захищеності БАС від засобів розвідки і далі від можливостей засобів радіоелектронного придушення комплексу РЕП дозволяє зробити висновок, що ймовірність РЕП різних радіовипромінюю-

чих засобів КРУ по робочому діапазону, потужності випромінювання та роду зв'язку буде різною, що є основою ступенів невизначеності станів локації БПЛА, ЕМО та СІСПІО та побудови стратегії застосування розвідувальних засобів та видів радіоелектронного придушення. Це також впливає на процедури уточнення даних розвідки та вибір параметрів для керування засобами придушення.

Склад та співвідношення показників зазначених приватних ТТХ БПЛА і засобів розвідки характеризує не тільки якість ситуаційної обізнаності, а і характер її змін. Врахування факторів ситуаційної обізнаності допомагає забезпечити ефективність пристосовування засобів комплексу РЕП на етапах функціонування до різних сценаріїв їх використання, включаючи підвищену гнучкість управління та реакцію на зміни умов спостереження та придушення БПЛА.

Головна мета ситуаційного управління на цьому етапі є:

- подолання розвідувальної захищеності БАС та досягнення необхідного рівня якості ситуаційної обізнаності комплексу РЕП через вибір певних приватних ТТХ контурів циклу управління задіяними засобами розвідки;

- формування управляючих даних, структурованих на основі складових інформаційного опису КС та потреби етапів функціонування комплексу, з наступною передачею їх в контури циклів управління засобами розвідки, видами придушення з фіксацією фактичного рівня невизначеності сигнатур БПЛА та моментів часу їх передачі.

Розгляд особливостей формалізації процесів управління засобами різних видів розвідки виконується з урахуванням умов виявлення БПЛА, ведення розвідки його характеристик та інтегрування отриманих результатів. Це завдання є комплексним, для вирішення якого необхідно декомпонувати та розв'язати окремі функціональні задачі. Першою задачею є пошук, виявлення і локалізація малого БПЛА як аеродинамічної цілі в циклах управління НШС оглядовою маловисотною РЛС зі стохастичними зондуючими сигналами, яка найкращим чином враховує особливості далекого (раннього) виявлення малого БПЛА, і пасивним пеленгатором з кутовим різницево-далекомірним методом вимірювання. Пошук управлінських рішень виконується відповідно до виразу (1) з використанням пов'язаних з ним критеріїв, що враховують показники приватних ТТХ задіяних засобів розвідки з точки зору встановлення вимог до них з урахуванням даних геометрії взаємного розташування їх та БПЛА.

У разі виявлення БПЛА дані його локалізації передаються в контури циклів управління відповідно засобами РТР і РЕР з урахуванням характеру застосованих режимів дистанційного управління польотом БПЛА. Ці контури управління здійснюють за аналогією з першою задачею управління пошук та розкриття характеристик радіоліній зв'язку КРУ та навігації виявленого БПЛА у вигляді розвідувальних даних стосовно вхідних складових конфліктної ситуації з урахуванням ступеню їх невизначеності. Розвідані таким чином сигнатури ЕМО та СІСПІО використовуються як джерела інформації для управління засобами розвідки та придушення, їх об'єднання за повної визначеності параметрів локації БПЛА у зоні відповідальності комплексу РЕП.

Критерієм якості ситуаційної обізнаності є своєчасність, повнота, достовірність та точність інформаційного опису сигнатур БПЛА, що досягається складом та співвідношенням приватних ТТХ, необхідним підвищенням значень показників приватних ТТХ, які пред'являються до інформаційних, керуючих та виконавчих засобів відповідних контурів управління (таблиця, етап 1).

Контури циклів ситуаційного управління етапу 1 функціонують безперервно, отримуючи первинні дані, уточнюючи їх в процесі спостереження за БПЛА, виявляючи нові дані.

Зазначимо також, що на цьому етапі є можливість застосування для поліпшення характеристик виявлення методу комплексного виявлення-розпізнавання, ідентифікації типів БПЛА за сукупністю ознак сигнатур локації, ЕМО та СІСПІО.

## **2. Цикли ситуаційного управління фізичним сигнальним придушенням БПЛА прицільними за напрямом загороджувальними та імітаційними видами активних завад**

Головна мета управління на цьому етапі: подолання завадозахищеності ліній зв'язку КРУ та радіонавігації БПЛА засобами генерації та постановки активних завад, використання сигнатури ЕМО для управління процесами фізичного сигнального придушення БПЛА, а також застосування НШС оглядової маловисотної РЛС для контролю траєкторії польоту БПЛА в процесі його придушення.

Для фізичного сигнального придушення БПЛА застосовуються засоби генерації та постановки різних видів загороджувальних за частотою та часом завад та імітаційних (сигналоподібних) завад та їх комбінації, що передбачає застосування певних відповідних циклів ситуаційного управління. Контури управління зазначених засобів придушення працюють з моменту надходження первинних даних управління про сигнатури локації та ЕМО БПЛА з урахуванням ступеня їх невизначеності. Управління далі коригується у міру уточнення та надходження нових даних. Опис стану конфліктної ситуації на етапі задається відповідно до таблиці, етап 2 при допущенні повної визначеності параметрів локації БПЛА.

Робота засобів придушення БПЛА вкругову через невизначеність просторово-частотного опису розташування БПЛА ( $j=1$ ) не розглядається.

Передбачаються такі можливі сценарії застосування засобів придушення залежно від виду пригнічуваної лінії радіозв'язку або радіонавігації та ступеня невизначеності стану ЕМО виявленого БПЛА – постановки у напрямку БПЛА: загороджувальних завад у разі нерозкриття ( $l=1$ ), часткового розкриття ( $l=2$ ) стану ЕМО; імітаційних завад у випадку розкриття ( $l=3$ ) прицільно на вразливій місця окремих радіоліній та їх комбінації з метою поєднання їх можливостей для підвищення результативності фізичного сигнального придушення.

Аналіз подолання розвідувальної захищеності випромінювальних засобів ліній зв'язку КРУ та радіонавігації БПЛА засобами розвідки та завадозахищеності зазначених радіоліній засобами радіоелектронного фізичного сигнального придушення дозволяє зробити висновок, що радіоелектронна протидія комплексу РЕП різним радіолініям БПЛА за робочою дальністю, потужністю випромінювання та типом зв'язку буде відрізнятися. Це впливає на вибір видів завад та формування їх комбінацій. При цьому враховується вплив геометрії взаємного розташування БПЛА та засобів придушення комплексу РЕП на склад та співвідношення їх приватних ТТХ.

Побудова контурів циклів управління виконавчими засобами фізичного сигнального придушення БПЛА для зазначених сценаріїв виконується за виразом (1) аналогічно попередньому етапу, але з використанням інших певних приватних ТТХ з таблиці, етап 2 щодо виду пригнічуваної лінії радіозв'язку або радіонавігації для завдання критеріїв постановки задач управління засобами придушення та пошуку їх рішень.

Таблиця  
Перелік критично важливих для комплексу РЕП приватних ГТХ та їх показників для основних етапів його функціонування

Етап 1	
Приватні ГТХ БАС	Приватні ГТХ контурів циклів ситуаційного управління засобами розвідки (за умов виконання показників приватних ГТХ інформаційних та керуючих засобів контурів відповідних циклів управління)
Склад показників розвідувальної захищеності БПЛА: його локалізації за напрямом, висотою, дальністю та швидкістю як радіолокаційного об'єкта та пасивного пеленгатору – характеризується малим розміром (малопомітністю), малими висотою польоту і швидкістю, маневреністю та віддаленістю від НПУ, режимами радіомовчання та автотомності польоту; сигнатур його ліній зв'язку КРУ та навігації місцевої ССРН, що використовує БПЛА: - як об'єкта засобів РТР – характеризується ймовірністю енергетичної та структурної скритності сигналних форм та параметрів окремих ліній зв'язку КРУ та радіонавігації, а також ступенями невизначеності інформаційного опису динамічного стану створеної ними електромагнітної обстановки (ЕМО) – структурно-параметричного електромагнітного портрета БПЛА; - як об'єкта засобів РЕП – характеризується ймовірностями структурних скритностей адресних та структурно-каналних ознак шифрованих інформаційних повідомлень, протоколів інформаційного обміну, часу та місяця обміну інформацією, її змісту та приналежності до елементів КРУ та радіонавігації, а також ступеня невизначеності інформаційного опису динамічного стану сукупності інформаційних повідомлень та протоколів інформаційного обміну (СПІНО) – параметричного інформаційного портрета БПЛА.	
	<p>Приватні ГТХ контурів циклів ситуаційного управління засобами розвідки (за умов виконання показників приватних ГТХ інформаційних та керуючих засобів контурів відповідних циклів управління)</p> <p><b>ГТХ НШС РЛС для розвідки локації БПЛА – його просторово-часового становища БПЛА.</b> <b>ГТХ всепогодної оглядової НШС РЛС зі стохастичними зондуючими сигналами та низькою ймовірністю перехоплення її сигналів:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- роздільні можливості РЛС по координатам;</li> <li>- ймовірність правильного виявлення заданого типу малого БПЛА при заданій ймовірності хибної тривоги;</li> <li>- діапазон та точності оцінювання конкретного параметра луна-сигналу, координат та параметрів траєкторії польоту БПЛА – середньо-квадратичні помилки (СКП) вимірювання;</li> <li>- ймовірності правильного та помилкового розпізнавання типу БПЛА;</li> <li>- ймовірність перехоплення засобами РТР зондувальних сигналів;</li> <li>- контроль дальності та моменту часу виявлення БПЛА.</li> </ul> <p><b>ГТХ пасивного пеленгатору з кутвимірним методом вимірювання</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- діапазон та точності (СКП -середньо-квадратична похибка) вимірювання кутових координат БПЛА;</li> <li>- контроль дальності та моменту часу пеленгування конкретного типу малого БПЛА.</li> </ul> <p><b>ГТХ засобів РТР структур та параметрів сигналних форм окремих радіоліній зв'язку та радіонавігації БПЛА:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- оцінка умов збігу селективних параметрів радіовипромінювань БПЛА та селективних характеристик засобів РТР. Врахування помилок, що виникають при налаштуванні засобу РТР і які оцінюються похибками вимірювання: робочої частоти ліній зв'язку КРУ, навігації БПЛА, неточністю пеленгації пригніченого БПЛА та системи управління рухом антени засобів РТР по азимуту та куту місця;</li> <li>- ймовірність виявлення сигналу у тому чи іншому частотному діапазоні (подолання енергетичної скритності випромінювання) при заданій ймовірності хибної тривоги за заданий час;</li> <li>- ймовірність розкриття структури сигнальної форми та її параметрів (подолання структурної скритності випромінювання) за заданий час;</li> <li>- діапазони та точності (СКП) виміру параметрів сигнальної форми випромінювання, необхідних для управління засобами фізичного сигнального придушення;</li> <li>- показник ідентифікації джерела радіовипромінювання БПЛА як його радіолінії;</li> <li>- ймовірність розпізнавання класу або типу малого БПЛА з алфавіту класів БПЛА за ознаками сигналів ліній зв'язку КРУ БПЛА;</li> <li>- дані геометрії взаємного розташування БПЛА і засобів розвідки комплексу РЕП в зоні його відповідальності для розрахунків показників ГТХ;</li> <li>- контроль дальності моментів часу подолання розвідуваності ліній зв'язку КРУ та радіонавігації БПЛА;</li> <li>- оцінка передбачуваного інтервалу часу оперативної стабільності випромінювань БПЛА.</li> </ul> <p><b>ГТХ засобів РЕП структур та параметрів інформаційних повідомлень та протоколів інформаційного обміну окремих конкретних ліній зв'язку БПЛА:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- оцінка умов збігу селективних параметрів інформаційних повідомлень та протоколів інформаційного обміну у випромінюваннях БПЛА та селективних характеристик засобів РЕП;</li> </ul>

<p>Градації невизначеності через відмінності розв'язуваності радіоліній навігації та зв'язку БАС, а також ймовірність виконання умови збігу селективних параметрів випромінювань БПЛА та видів селекції засобів розвідки: нерозкрита (I=1), частково розкрита (I=2) та розкрита-відкрита (I=3)</p>	<p>- ймовірність розкриття структури, параметрів інформаційних повідомлень та протоколів інформаційного обміну (подолання їхньої структурної скритності) за заданий час;                  - діапазони та точності (СКП) виміру параметрів структури інформаційних повідомлень та протоколів інформаційного обміну, необхідних для управління засобами прихованого інформаційного РЕП;                  - контроль дальностей та моментів часу подолання розвідзахисності інформаційних повідомлень та протоколів інформаційного обміну в лініях зв'язку КРУ та навігації БПЛА;                  - оцінка передбачуваного часу оперативної цінності інформації, що передається;                  - контроль траєкторії польоту БПЛА у процесі пізнання ситуаційної обізнаності за допомогою застосування оглядової НШС РЛС.</p>
<p><b>Етап 2</b></p>	
<p><b>Завадозахищеність</b> ліній зв'язку КРУ БПЛА та навігації місцевої РСРН (як здатність їх технічних засобів прийому та обробки сигналів виконувати свої функції з необхідною якістю в заданих умовах впливу завад та застосування засобів завадозахисту).</p>	<p>- <b>оцінка умов збігу</b> видів селекції пристроїв прийому та обробки сигналів в БАС та селективних параметрів засобів наведення завадових випромінювань, зокрема:                  а) ймовірностей збігу: діапазонів робочих частот засобів РЕП та ліній зв'язку та навігації БАС; діаграм спрямованості антен засобів РЕП та в лініях зв'язку КРУ; часу пошуку та часу роботи ліній зв'язку КРУ на випромінювання;                  б) мінімізації помилок, що виникають при налаштуванні засобів РЕП і які оцінюються похибками вимірювання: робочої частоти ліній зв'язку КРУ, навігації БПЛА, неточністю установки частоти засобів РЕП; точністю прицілювання завад у напрямку, яка залежить від точності пеленгації пригніченого БПЛА та системи управління рухом антен засобів придушення по азимуту та куту місця;                  - оцінка ступеня невизначеності динамічного стану ЕМО на основі аналізу та прогнозу її змін, враховуючи відмінності в розвід- та завадозахищеності радіоліній;                  - дані геометрії взаємного розташування БПЛА і засобів розвідки комплексу РЕП в зоні його відповідальності для розрахунків показників ТТХ;                  - критерії управління при цьому використовує показники придушення щодо виду лінії зв'язку або радіонавігації, що придушується, у разі застосування видів:  <b>потужних загорджувальних завад з маскувальним ефектом впливу:</b>                  - показник ступеня впливу загорджувальної завади, який оцінюється сукупністю традиційних коефіцієнтів придушення радіоліній БПЛА у тому чи іншому частотному діапазоні з урахуванням сукупності коефіцієнтів селективності радіоліній БПЛА у разі розбіжностей параметрів селекції за напрямом, частотною, часовою та статистичною селекції на виході кореляційного приймача та параметрів завад;                  - показник впливу завад на спотворення символів шифрованих інформаційних повідомлень, що передаються, або порушення шифрів в лініях зв'язку КРУ і навігації БПЛА, а також на швидкість передачі даних;                  - показник підвищення глибини придушення за рахунок управління параметрами завад за даними змін визначеності стану ЕМО на основі аналізу та прогнозу цих змін;                  - контроль дальності (моментів часу) енергетичного придушення загорджувальною завадою ліній зв'язку КРУ та навігації БПЛА при використанні конкретного виду завади та вказівці специфіки її постановки.</p>

<p><b>Імітаційних (малопотужних сигналоподібних) завод:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- показники оцінки ефекту впливу імітаційної завади – показники ефекту внесення хибної інформації засобам прийому та обробки сигналів в лінії радіозв'язку та радіонавігації БПЛА;</li> <li>а) коефіцієнт енергетичного придушення, близький до 1;</li> <li>б) коефіцієнт кореляції структури завади із структурою сигналу лінії зв'язку або навігації БПЛА;</li> <li>в) оцінка ступеня безпеки для лінії зв'язку КРУ та навігації БПЛА за рахунок внесення хибної інформації або оцінка ефективності внесення хибної інформації в сигнали цих ліній в межах часу оперативної цінності інформації, що передається;</li> <li>- контроль дальності (моментів часу) фізичного сигнального придушення ліній зв'язку КРУ та навігації БПЛА з внесенням хибної інформації певної спрямованості при використанні конкретних видів імітаційних активних завод з зазначенням специфіки їх постановки;</li> <li>- контроль траєкторії польоту БПЛА у процесі придушення застосуванням оглядової НШС РЛС.</li> </ul>	
<b>Етап 3</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>оцінка умов збігу</b> видів селекції та селективних параметрів пристроїв прийому та обробки сигналів БПЛА, пристроїв передачі інформаційних повідомлень у радіолініях БПЛА та селективних параметрів наведення імітаційних завод, а також характеристик видів селекції та селективних параметрів формування інформаційно-технологічних впливів (хибних інформаційних повідомлень та протоколів обміну інформацією в лініях зв'язку КРУ та навігації БПЛА);</li> <li>- ймовірні показники структурної скритності інформаційного повідомлення та самого інформаційного обміну, що характеризують властивість радіоліній КРУ зберігати у тасмниці від комплексу РЭП структуру та параметри інформаційного повідомлення, факту, часу та місця обміну інформацією, а також її вміст і належність до її елементів;</li> <li>- показники ефекту внесення хибної інформації в інформаційний обмін шляхом імітації чи підміни інформаційного повідомлення в межах часу існування скритої корисної інформації в радіолініях БАС;</li> <li>- контроль часу оперативної цінності інформації, що передається;</li> <li>- контроль дальності (моментів часу) внесення скритного інформаційного повідомлення до лінії зв'язку КРУ чи навігації БПЛА з внесенням хибної інформації визначеної спрямованості для інформаційного обміну при використанні конкретних комбінацій видів імітаційних активних завод та ІТВ з урахуванням заданих специфік їх постановки;</li> <li>- контроль траєкторії польоту БПЛА у процесі придушення застосуванням оглядової НШС РЛС.</li> </ul>	<p><b>Завадозахищеність засобів передачі шифрованих інформаційних повідомлень</b> (достовірність символів та швидкість переданих шифрованих інформаційних повідомлень) у лініях зв'язку КРУ БПЛА та навігації місцевої РСРН при постановці імітаційних видів завод.</p> <p><b>Імітозахищеність (криптостійкість) засобів передачі шифрованих інформаційних повідомлень та протоколів інформаційного обміну</b> при постановці інформаційно-технологічних впливів (ІТВ).</p> <p>Градация невизначеності: нерозкрита (l=1), частково розкрита (l=2) та розкрита-відкрита (l=3).</p>

Слід зазначити, що у разі постановки тієї чи іншої сигналоподібної завади з рівнем потужності, що відповідає рівню потужності корисного сигналу на борту БПЛА, виникають труднощі аналітичної оцінки дії внесеної нею хибної інформації до бортових трактів прийому та обробки сигналів. Це робить необхідним у процесі управління, крім розрахунків оцінок коефіцієнтів кореляції структур застосовуваних видів імітаційних завад з відповідними реальними сигналами в лініях радіозв'язку КРУ та радіонавігації БПЛА, використовувати попередні результати застосування для цього статистичного імітаційно-математичного методу стосовно того чи іншого виду імітаційної завади, а також залучення його до процесів управління безпосередньо в динаміці конфлікту.

У разі змішаної ситуації зі ступенями невизначеності стану ЕМО та постановки комбінацій загороджувальних та імітаційних завад результативність їх використання буде визначатися набором показників приватних ТТХ відповідно до наведених сценаріїв щодо придушення тих чи інших ліній радіозв'язку КРУ та радіонавігації БПЛА.

Визначено важливим застосування НШС оглядової маловисотної РЛС для об'єктивного контролю траєкторії польоту малого БПЛА в процесі його радіоелектронного придушення у зв'язку низькою визначеністю інших явних наслідків придушення БПЛА і напрямків його дій при переході у режим автономного польоту.

### **3. Цикли ситуаційного управління прихованим інформаційним придушенням інформаційних повідомлень та протоколів інформаційного обміну БПЛА із застосуванням інформаційно-технологічних впливів**

Головна мета управління на цьому етапі: подолання завадо- та імітозахищеності засобів передачі шифрованих інформаційних повідомлень та протоколів інформаційного обміну у лініях зв'язку КРУ та навігації ССРН при постановці сигналоподібних завад та інформаційно-технологічних впливів (ІТВ), використання сигнатури СППЮ для управління процесами зкритого інформаційного придушення БПЛА, а також застосування НШС оглядової маловисотної РЛС для контролю траєкторії польоту БПЛА в процесі його придушення.

Радіоелектронне придушення КРУ на етапі 2 може зменшити ймовірність успішного виконання БПЛА цільового завдання, але не забезпечує однозначних дій стосовно припинення його польоту у напрямку контрольованої зони. Зазвичай, відсутність зовнішнього управління призводить до переходу БПЛА в автономний режим, в якому його дії визначаються вбудованою програмою автономного польоту. Програма ця може скоріше передбачати продовження польоту до об'єкту розвідки чи враження та виконання цільового завдання, використовуючи доступні засоби навігації. Тому важливо використати можливості потайного інформаційного придушення БПЛА та зробити малий БПЛА не лише некерованим (порушити роботу його КРУ), але й доступним для перехоплення його управління (з метою керування припинення його польоту) в системі управління БАС в структурі НПУ.

Для цього виду придушення БПЛА застосовуються засоби генерації (або перевипромінювачі) та постановки різних видів сигналоподібних завад у напрямку БПЛА, пристрій формування видів ІТВ і підтримки ІТВ у процесі їх постановки та пристрій внесення ІТВ з хибною інформацією до структури сигналоподібної завади тієї чи іншої радіолінії БПЛА. Це передбачає також застосування певних циклів ситуаційного зовнішнього управління.

Методика прихованого зовнішнього управління траєкторію польоту маневреного малого БПЛА в контурах цих циклів управління має поєднувати взаємопов'язаність поточних процесів наведення БПЛА та синтезу алгоритмів автоматизованого управління радіоелектронною протидією з використанням комбінацій сигнальноподібних завад та ІТВ в умовах повної розвідувальної доступності БПЛА, його характеристик ліній радіозв'язку та радіонавігації у вигляді сигнатур БПЛА – локації, ЕМО та СППЮ. Тому формування представлення про поточні процеси управління БПЛА та синтез алгоритмів управління його прихованим інформаційним придушенням мають відбуватися паралельно та взаємопов'язано з моменту надходження даних управління від засобів розвідки комплексу РЕП. Описи стану конфліктної

ситуації на етапі задається відповідно до складових таблиці, етап 3 при допущенні повної визначеності приватних ТТХ контурів циклів ситуаційного управління засобами розвідки та придушення за умов виконання показників приватних ТТХ інформаційних та керуючих засобів контурів відповідних циклів управління.

Для етапу 3 ключову роль грають наступні особливості:

- досягнуті результати протидії попередніх етапів функціонування комплексу РЕП, розкриті види вразливості шифрованих інформаційних повідомлень, протоколів управління та навігації, що застосовуються на малих БПЛА і які використовуються для підготовки спеціальних хибних даних (інформаційних заготовок) з метою імітації або підміни інформаційних повідомлень в радіолініях БПЛА та отримання контролю управління ним шляхом їх радіопередачі у вигляді ІТВ;

- види ІТВ, які вбудовуються у відповідну структуру сигналоподібної завади – прицільної за частотою і структурою сигналу тієї чи іншої лінії радіозв'язку або радіонавігації БПЛА, яка характеризується високою ймовірністю збігу за структурою і форматом даних, що передаються в цих радіолініях зв'язку і навігації. ІТВ використовує вразливості іміто(криптографічної) захищеності, можливості доступу до керування за рахунок злому шифрованої радіолінії, імітації або підміни даних авторизації, а також уразливості алгоритмів прийняття рішень в системі управління БАС в структурі НПУ;

- очікувані ефекти нав'язування йому хибних режимів роботи КРУ або його польоту;

- побудова контурів циклів управління виконавчими засобами прихованого інформаційного придушення БПЛА, що виконується за виразом (1) аналогічно попереднім етапам, але з використанням інших певних приватних ТТХ щодо виду пригнічуваної лінії радіозв'язку або радіонавігації з таблиці, етап 3 для завдання критеріїв постановки задач управління та пошуку рішень.

Між тим, слід зазначити, що у разі постановки тієї чи іншої комбінації сигналоподібної завади та ІТВ, виникають труднощі аналітичної оцінки дії внесеної ними хибної інформації. Це робить необхідним, як і на етапі 2, використання у процесі управління попередніх результатів застосування для цього статистичного імітаційно-математичного методу дослідження властивостей використовуваної комбінації імітаційної завади та ІТВ, а також залучення його до процесів управління безпосередньо в динаміці конфлікту. Тобто, передбачається використання заздалегідь спеціально підготовленої обманної інформації, що базується на застосуванні сучасних інформаційних технологій та наступної послідовності дій:

- використання результатів моделювання двосторонньої динаміки конфліктної взаємодії на етапах функціонування комплексу РЕП, особливо в інформаційній сфері, та відображення конфліктних станів та можливих варіантів дій протиборчих сторін (підсистеми моделювання дій БПЛА та моделювання своїх дій);

- виборі та розробці плану обману системи управління БАС про реальний стан конфліктної ситуації, оцінки розміру, часу та порядку впровадження обманних дій;

- підтримці цієї обманної інформації діями безпосередньо в процесі конфліктної взаємодії на основі результатів моделювання інформаційного протиборства в підсистемі моделювання забезпечення прийняття рішення, а також за допомогою порад системи підтримки прийняття рішень у процесах фізичного сигнального та прихованого інформаційного придушення, які дозволяють не тільки відстежувати дії БПЛА та реагувати на них, попереджати його наміри і постійно вводити його в оману, але й узгодити та ув'язати за цілями, завданнями, місцем, часом та способом впливу комплексу РЕП на стан польоту БПЛА.

Визначено важливим застосування НШС оглядової маловисотної РЛС для об'єктивного контролю нав'язаних засобами інформаційного придушення змін траєкторії польоту малого БПЛА та у зв'язку з невизначеністю напрямків його дій при переході у режим автономного польоту.

## Висновки

Показано можливість досягнення конфліктних переваг комплексу РЕП в динаміці конфлікту з малою безпіотною системою за рахунок покращення його керованості внаслідок поліпшення рівня формалізації процесів забезпечення результативності на основних етапах його функціонування. Розглянуто, поряд з загальними особливостями формалізації циклів внутрішньо етапного когнітивного ситуаційного управління комплексу РЕП, ряд її відмінностей при побудові контурів управління для окремих етапів. Вони стосуються отримання якісного інформаційного опису конфліктних ситуацій при формуванні ситуаційної обізнаності, обґрунтованого вибору складу та оптимізації порядку застосування ефективних технічних виконавчих засобів розвідки та різних видів придушення у контурах циклів управління ними. При цьому використовується сформований критично важливий для БАС та комплексу РЕП певний перелік приватних ТТХ та значень їх показників, як системний інструмент формалізації опису конфліктної ситуації та циклів управління для її вирішення, що має певні відмінності та співвідношення на окремих етапах.

Сформований перелік показників ключових приватних ТТХ об'єктивно відображає умови та результати застосування засобів спостереження та протидії комплексу РЕП малій БАС на основних етапах його функціонування. Послідовність їх застосування комплексно охоплює основні складові, що впливають на якість функціонування відповідних засобів контурів циклів внутрішньо етапного ситуаційного управління комплексу РЕП. Так, він забезпечує:

- аналізу умов спостереження і придушення малого БПЛА як прицільно кожної з його радіоліній зв'язку командної радіолінії управління (КРУ) і навігації місцевої ССРН, що використовує БПЛА, так і сукупності цих радіоліній, а також алгоритмів прийняття рішень в системі управління БАС в цілому з урахуванням характеристик їх вразливостей;

- вибір та застосування:

а) різних комбінацій певних засобів розвідки характеристик БПЛА в залежності від умов та результатів спостереження БПЛА;

б) прицільних за напрямком різних видів загороджувальних за частотою і часом, імітаційних (сигналоподібних) активних завад, та їх комбінацій для фізичного придушення радіосигналів КРУ, ССРН;

г) прицільних за напрямком змішаних комбінацій різних сигналоподібних завад і інформаційно-технологічних впливів (ІТВ), комбінацій окремих ІТВ на процеси управління в БАС для потайного інформаційного придушення БПЛА з метою порушення передбачуваної роботи його КРУ чи перехоплення управління БПЛА для цілеспрямованого припинення його польоту.

Підвищення вимог до приватних ТТХ, узгоджених з вразливостями БАС, та обмеження на витрати матеріального ресурсу і дефіцит часу є джерелами пошуку шляхів ефективного вирішення проблем своєчасного (раннього) виявлення малих БПЛА та поетапної реалізації різних видів їх придушення, що наростаюче посилюються, із урахуванням специфіки та тактики застосування БАС.

### Список літератури:

1. Generation of Counter UAS Systems to Defeat of Low Slow and Small (LSS) Air Threats. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1152139.pdf>
2. Американська класифікація БПЛА. [Електронний ресурс]. URL: <https://armyinform.com.ua/2020/03/11/standarty-nato-v-galuzi-bezpilotnoyi-aviacziyi/>
3. Миценко І.М., Педенко Ю.О., Роєнко О.М. Про можливість захисту БПЛА від придушення сигналів управління // Радіотехніка. 2024. Вип. 217. С. 133–138.
4. Методичні рекомендації «Щодо радіоелектронної протидії безпілотним літальним апаратам «Ланцет» / Головне управління радіоелектронної та кіберборотьби Генерального штабу Збройних Сил України, Житомирський військовий ін-т ім. С. П. Корольова, 2023. 23 с. <https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2023/03/>
5. Радіоелектронна протидія безпілотним апаратам «Ланцет» // Електронний ресурс: <https://sprotyvg7.com.ua/lesson/radioelektronna-protidii-bezpilotnim-litalnim-apatam-lancet>.

6. Ярош С.П., Гур'єв Д.О. Впровадження специфічних способів і засобів протидії безпілотним літальним апаратами в групуванні зенітних ракетних військ // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2022. № 2(47). С. 47–61. DOI: 10.30748/nitps.2022.47.05
7. Лещенко С. П., Адаменко А. А., Лупандін В. А., Мегельбей Г. В. Система інформаційного забезпечення протидії безпілотним літальним апаратам противника при комплексному застосуванні засобів радіоелектронної боротьби // Зб. наук. пр. Харків. нац. ун-ту Повітряних Сил. 2022. № 3 (73). С. 31–37. <https://doi.org/10.30748/zhups.2022.73.05>.
8. Лупандін В. А., Сотніков О. М., Мегельбей Г. В., Танцюра О. Б. Модель захисту об'єктів і військової техніки від роїв безпілотних літальних апаратів // Системи обробки інформації. 2022. № 4 (171). С. 41–47. [doi.org/10.30748/soi.2022.171.04](https://doi.org/10.30748/soi.2022.171.04).
9. Системи РЕБ та РЕР: що потрібно Україні та які її можливості в цьому напрямку // Електронний ресурс: <https://finance.ua/goodtoknow/yakykh-system-REB-ta-RER-potrebuie-Ukraina>
10. Kaidenko M. M., Kravchuk S. O. Protection against the effect of different classes of attacks on UAV control channels // Information and telecommunication sciences. 2022. Vol. 13, №1. P. 35–43.
11. Kantsedal V. Features of the formalization of situation management cycles of the ground specialized complex of radio electronic countermeasures for small drones // Book of proceedings of the XX International Scientific Conference on Electronics and Applied Physics (APHYS 2024). 22–25 October 2024. Kuiv, Ukraine, Taras Shevchenko National University of Kyiv Faculty of Radio Physics, Electronics and Computer Systems. P. 220–221.
12. Kantsedal V., Mogyla A. A Multifactorial Approach to Building a System for Automated Control of Radar Information Stability / V.Kantsedal, A. Mogyla // 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (MRRS) Kharkov, Ukraine, September 21 – 25, Vol. 2. P. 373–378.
13. Kantsedal V. Rationale for construction of the structure of the system for cognitive control of types of signal resource surveillance radar // Book of proceedings of the 19<sup>th</sup> International Scientific Conference on Electronics and Applied Physics (APHYS 2023). 17–21 October 2023. Kuiv, Ukraine, Taras Shevchenko National University of Kyiv Faculty of Radio Physics, Electronics and Computer Systems. P. 91–92.
14. Kantsedal V., Mogyla A. System advantages and features of the use of stochastic periodic complex pulse radio signals in the sensing modes of a surveillance radar // Book of proceedings of the 19<sup>th</sup> International Scientific Conference on Electronics and Applied Physics (APHYS 2023). 17–21 October 2023. Kuiv, Ukraine, Taras Shevchenko National University of Kyiv Faculty of Radio Physics, Electronics and Computer Systems. P. 89 –90.
15. Канцедал В.М., Могила А.А. Особливості управління завадо захищеністю оглядової РЛС при її придуженні активними завадами та інформаційними впливами, що заважають // Радіотехніка. 2021. Вип. 207. С. 89–101.

Надійшла до редколегії 09.10.2024

*Відомості про автора:*

**Канцедал Валерій Михайлович** – канд. техн. наук, Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усікова НАН України, старший науковий співробітник; Україна; e-mail: [kantsedalvaleri@gmail.com](mailto:kantsedalvaleri@gmail.com), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4008-917X>