

Даник Юрій Григорович (д-р техн. наук, професор, начальник інституту)¹

Дупелич Сергій Олексійович (викладач кафедри)²

¹Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

²Житомирський військовий інститут імені С П Корольова, Житомир, Україна

СТРАТЕГІЧНІ АСПЕКТИ БОРОТЬБИ З РОБОТОТЕХНІЧНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

У статті розглянуто стратегічні аспекти боротьби з робототехнічними комплексами. Запропоновано перспективну модель боротьби з робототехнічними засобами робототехнічних комплексів та сформульовано перспективні шляхи розвитку систем боротьби з робототехнічними комплексами і напрями їх бойового застосування. Встановлено, що в процесі функціонування таких систем необхідно здійснювати безперервний аналіз співвідношення часу видачі розвідувальної та бойової інформації з урахуванням як великої кількості різноманітних робототехнічних засобів робототехнічних комплексів противника, так і різноманітних засобів, які входять до складу зазначених систем. На основі проведеного аналізу принципів функціонування системи боротьби з наземними, повітряними (БПЛА), надводними та підводними робототехнічними комплексами противника визначено відповідні організаційно-технічні заходи та обґрунтовано перспективні напрями щодо розробки вітчизняної системи боротьби з робототехнічними комплексами противника. Запропоновано загальну багатомірну модель циклів Бойда.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати та безпілотні авіаційні комплекси (БПЛА та БАК), бойове застосування робототехнічних комплексів (БАК тощо), протидія робототехнічним комплексам (БАК тощо) та засобам (БПЛА тощо), виявлення робототехнічних комплексів (засобів).

Вступ

Постановка проблеми. В сучасних війнах та військових конфліктах значно зросли важливість та масштаби застосування робототехнічних комплексів. Робототехнічні комплекси (РТК) є сукупністю: апаратних засобів (наземних, повітряних, надводних та підводних тощо робототехнічних засобів (РТЗ));

програмно-алгоритмічних комплексів; систем управління, що забезпечують комплексну (дистанційну, автономну або змішану) автоматизацію виконання задач.

Такі комплекси вже стали обов'язковою складовою озброєння армій провідних країн світу [1–3]. Аналіз їх застосування в останніх збройних конфліктах [4], в тому числі і під час проведення антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей свідчить про значне зростання їхньої ролі під час виконання різноманітних завдань.

Зважаючи на це, крім розвитку форм і способів застосування власних РТК (безпілотних літальних апаратів (БПЛА) тощо) постає питання ефективної протидії аналогічним системам (засобам) противника. Тому в провідних країнах світу проводяться інтенсивні дослідження в цій сфері. Розроблені інноваційні та існуючі організаційні заходи, системи (комплекси) дозволяють в певному сенсі вирішувати зазначені питання, але необхідний рівень ефективності, як в організаційному, так і технічному плані, і досі не забезпечений. В Україні також проводяться заходи

щодо дослідження і розробки засад та комплексів (засобів) боротьби із РТК та РТЗ РТК [4–7].

Таким чином, проблема боротьби з РТК противника є надзвичайно актуальною і вимагає якомога швидшого вирішення, для чого необхідне комплексне залучення причетного до цієї сфери наявного наукового та технічного потенціалу держави.

Вказану проблему доцільно вирішувати шляхом створення спеціалізованих систем боротьби з РТК та РТЗ РТК противника для забезпечення їх своєчасного виявлення, ідентифікації та протидії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До цього часу опубліковано багато робіт вітчизняних та зарубіжних фахівців, присвячених питанням боротьби з РТК [5, 8–11].

В організаційних заходах пріоритетними є підходи щодо створення єдиних засад боротьби з РТК (тих типів і класів, з якими неможливо або неефективно боротися існуючими засобами) та систем для їх реалізації із органів управління та відповідно оснащених підрозділів, які мають у своєму складі специфічні технічні засоби для вирішення зазначених задач. При цьому, розробляються і впроваджуються концепції, стратегії, засади, форми, способи, методи, тактика бойового застосування тощо.

Характерною рисою підходів, які розглядаються, є комплексність використання засобів виявлення, видачі цілевказівок, наведення та ураження, що функціонують на різних фізичних

принципах. Системність при цьому забезпечується шляхом об'єднання інформаційних потоків та сумісної обробки даних. Самі засоби доцільно розміщувати із забезпеченням раціонального просторового розташування в межах визначеного району відповідальності комплексу, що, як показали дослідження, сприяє підвищенню ефективності його застосування та живучості.

Однак з урахуванням недостатньої кількості діючих засобів протидії РТК противника з одного боку та їх недостатньою ефективністю і малими ресурсними можливостями з іншого, проблема боротьби з РТК противника досі залишається невирішеною.

Враховуючи це **метою статті** є висвітлення концептуальних напрямів щодо комплексного вирішення проблеми розробки комплексів боротьби з РТК противника та формування засад їх бойового застосування.

Виклад основного матеріалу дослідження

Стратегічні аспекти боротьби з РТК визначаються і залежать від наступних факторів:

інтенсивного розвитку та розширення спектру типів, класів, масштабів, варіантів і можливостей, а також наслідків застосування РТК;

розширення можливостей геоінформаційного та навігаційного забезпечення та всебічної інформаційної підтримки застосування РТК;

розвитку та впровадження групового і комплексного застосування РТК та РТЗ РТК;

зниження помітності та ускладнення своєчасного виявлення РТЗ РТК в різних частотних діапазонах;

ускладнення радіоелектронної обстановки в сучасних воєнних конфліктах;

комплексного застосування інноваційних комплексів (засобів) технічних видів розвідки та радіоелектронної боротьби (РЕБ), комплексів оперативного управління силами і засобами;

високої динаміки, маневреності сучасних бойових дій, їх швидкоплинності, вибірковості і можливості забезпечення високого ступеню ураження об'єктів, зростання швидкості маневру військами (силами) і вогнем, застосування різних мобільних угруповань військ (сил), з одного боку, а з іншого можливості ведення позиційної війни зі створенням ешелонованої оборони;

складності досягнення балансу між потрібним і наявним часом повного циклу «виявлення-ураження (зриву виконання завдання)» РТК (РТЗ);

наявності і відповідності вітчизняному і світовому досвіду, стану розвитку техніки і воєнного мистецтва, концепцій, стратегій, засад, форм, способів, методів, моделей, тактики бойового застосування комплексів боротьби з РТК (РТЗ);

наявності відповідних висококваліфікованих фахівців та інтегрованого навчально-наукового, дослідно-випробувального комплексу, в якому на

єдиній базі здійснюють освітню і наукову діяльність за високотехнологічними напрямами.

РТК широко використовуються в інтересах ведення розвідки, вогневої підтримки військ (сил), охорони і оборони важливих об'єктів, доставки вантажів, встановлення різноманітних засобів і пристроїв, а також виконання спеціальних завдань та інших дій у важкодоступних або небезпечних для людини місцях. Ефективність застосування РТК визначається співвідношенням між важливістю і обсягами завдань, які можуть бути вирішеними за їх допомогою та вартістю їх розроблення, виробництва й експлуатації.

Разом з цим своєчасність вжиття заходів протидії РТК противника вимагає достатньої ефективності застосування залучених для виконання цього завдання сил і засобів, а головним напрямом для вирішення зазначених завдань може бути розробка комплексів боротьби з наземними, повітряними, надводними та підводними РТК (РТЗ) противника. Базова функціональність таких комплексів досягається шляхом реалізації у їх структурі опорних принципів, згідно яким реалізується повний цикл протидії від виявлення до потрібного впливу, а однією із умов її ефективного функціонування є потреба створення єдиної системи управління.

РТК може бути знешкоджені шляхом ураження (вогневого, радіоелектронного тощо) його комплексу управління чи РТЗ РТК, які входять до складу РТК. Не менш ефективним шляхом є взяття під контроль комплексу (засобів) управління ними з використанням засобів кібернетичного впливу.

Традиційно вважається, що боротьба з РТЗ РТК противника передбачає поетапне вирішення завдань та здійснення процедур їх виявлення (В), захоплення на супроводження та супроводження (С), ідентифікацію (І), видачу цілевказівок та ураження (У) (рис. 1).

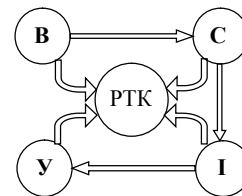


Рис. 1. Існуюча модель ведення боротьби з РТЗ РТК противника

Але застосування традиційних підходів призводить або до несвоечасного виявлення РТЗ РТК противника, або ж до неможливості їх ураження за допомогою існуючих засобів. Крім цього, така модель боротьби має принциповий недолік, який полягає у відсутності можливості

запобігання діям РТЗ РТК противника без їх фізичного знищення або знешкодження.

Для усунення зазначених недоліків пропонується розглядати процес боротьби з РТЗ РТК противника як єдину систему, додатковими процедурами якої є прогнозування дій (ПД) РТК та комплексна протидія (КПР) ним.

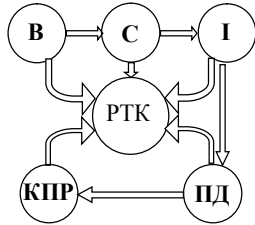


Рис. 2. Перспективна модель ведення боротьби з РТЗ РТК противника

Виявлення факту застосування противником РТЗ РТК є важливим завданням як для збереження прихованості і раптовості дій військ (сил), так і забезпечення їхньої живучості. Однак застосування існуючих засобів для виявлення сучасних РТЗ РТК, які мають малі розміри, виготовляються з композитних матеріалів та можуть діяти в різних умовах обстановки, виявилось проблематичним. З урахуванням зазначеного, підсистема виявлення РТЗ РТК противника повинна являти собою сукупність різнотипних технічних засобів розвідки об'єднаних єдиною системою управління, а запорукою її якісного функціонування є забезпечення принципів формування правил вибору тих засобів, які для заданих умов обстановки забезпечать максимальне значення імовірності правильного виявлення РТЗ РТК противника.

Отже, найбільш дієвим підходом для вирішення завдання виявлення РТЗ РТК противника є застосування комплексних систем, до складу яких можуть входити: комплекси засобів радіолокації (оснащені засобами пасивної радіолокації, засобами активної радіолокації і засобами державної системи радіолокаційного розпізнавання); комплекси засобів виявлення супутніх слідів (оснащені ультрафіолетовими приймачами і лазерами); комплекси засобів акустичної розвідки (оснащені засобами виявлення у звуковому діапазоні хвиль і засобами виявлення в ультразвуковому діапазоні хвиль); комплекси засобів оптикоелектронної розвідки (оснащені засобами виявлення у видимому діапазоні хвиль, засобами виявлення (ЗВ) в інфрачервоному діапазоні хвиль і засобами виявлення в ультрафіолетовому діапазоні хвиль) [5].

В результаті здійснення першої процедури буде сформована множина параметрів $W = \{C_1, C_2, \dots, C_I\}$, у якій кожен з елементів $C_i, i = \overline{1, I}$ характеризує сукупність сигнатур

виявленого i -м ЗВ об'єкту та місце його знаходження.

Захоплення на супровід РТЗ РТК здійснюється з метою отримання додаткових вимірювань параметрів W , які дозволяють уточнювати значення елементів C_i до необхідного для переходу в режим супроводження рівня. Проте сучасні РТЗ РТК характеризуються широкими можливостями щодо зміни швидкості свого руху та маневреності, а за групового застосування – специфічністю побудови бойових порядків та тактики дій. Саме тому виконання завдання супроводження РТЗ РТК противника пов'язано зі значними труднощами. Для його вирішення до складу систем боротьби з РТЗ РТК противника необхідно включати програмно-апаратні засоби з адаптивними алгоритмами попередження зриву супроводу маневруючих та групових цілей.

Задача та процедура ідентифікації виявлених об'єктів є одними з ключових під час виконання заходів боротьби з РТЗ РТК противника. У даному випадку вони полягають у визначенні належності виявлених сигнатур до певного класу за вимірними значеннями їх параметрів. Постійно зростаюча кількість РТЗ РТК, збільшення варіантів режимів їх роботи призводить до ускладнення процесу розпізнавання. Існуючі ж алгоритми ідентифікації [12,13] є недостатньо ефективними та не завжди забезпечують однозначне віднесення виявлених засобів до конкретних РТЗ РТК противника. Тому виникає необхідність у розробці нових алгоритмів, які б забезпечили усунення неоднозначності у результатах розпізнавання та підвищили б імовірність правильної ідентифікації.

Результатом виконання третьої процедури буде сформована множина $O = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_K\}$, у якій містяться елементи $Z_k, k = \overline{1, K}$, що характеризують сукупність ознак належності виявленого об'єкту певному k -му класу РТЗ РТК.

Прогнозування дій РТЗ РТК полягає у визначенні можливих напрямів їх руху та режимів роботи бортового обладнання з метою визначення шляхів щодо подальшого їх знешкодження або введення противника в оману.

Комплексна протидія РТЗ РТК противника планується та організовується після отримання інформації про їх особливості, прогнозування їх дій та оцінки небезпеки, яку вони представляють. Комплекс протидії може включати:

повне або часткове (до достатнього для зриву виконання противником завдань рівня) радіоелектронне подавлення системи управління або радіоелектронного обладнання РТЗ;

створення умов для отримання РТЗ противника інформації, яка забезпечує введення його в оману;

втручання в роботу бортової навігаційної системи РТЗ шляхом підміни сигналів космічних або інших навігаційних систем (спуфінг);

перехоплення керування РТЗ РТК та спрямування його в зону досяжності для безпечного захоплення;

кінетичне ураження РТЗ РТК противника на основі комплексного застосування систем зенітного та зенітного ракетного прикриття, систем винищувального авіаційного прикриття тощо [14].

Перспективним підходом є застосування зброї на нових фізичних принципах (лазерна, пучкова, електромагнітна зброя тощо) [15]. Дієвим способом протидії повітряним робототехнічним комплексам (безпілотним авіаційним комплексам (БАК) та БПЛА) є застосування спеціальних БПЛА винищувачів-перехоплювачів, які оснащені

засобами ураження у вигляді будь-яких екранів (сітка з вічком, меншим за габарити цілі, троси з важками, відстань між якими менша за габарити цілі, система нитей тощо), які закріплені на БПЛА вільно чи у спеціальних контейнерах, або у вигляді викидних сіток у піропатронах [16], а також застосування переносних засобів ураження, бойова частина яких оснащена системою об'ємного вибуху тощо [6].

Крім зазначеного, до складу системи боротьби з наземними, повітряними, надводними та підводними РТК противника повинні входити система управління, а також комплекс засобів автоматизації (рис. 3).

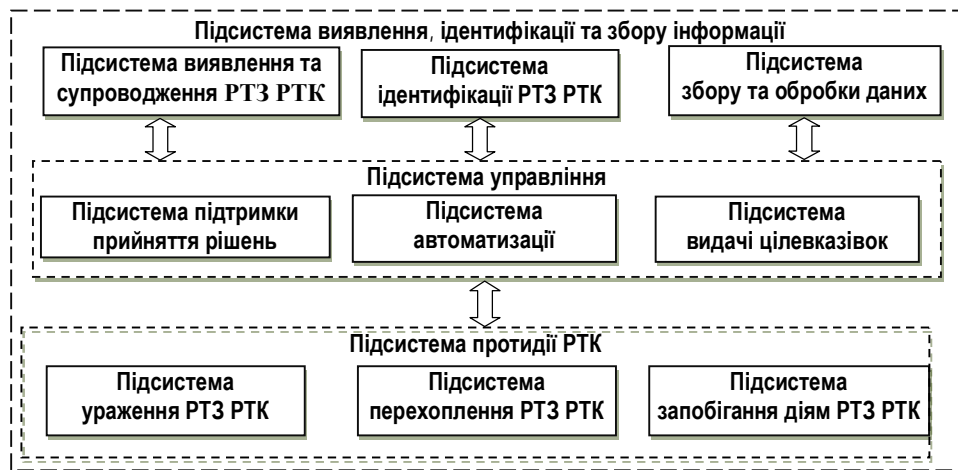


Рис. 3. Склад комплексу боротьби з РТЗ РТК противника (варіант)

Комплекси боротьби з наземними, повітряними, надводними та підводними РТК противника повинна забезпечувати виконання таких основних завдань:

1. Виявлення і захоплення на супровід відповідних (наземних, повітряних, надводних або підводних) РТЗ РТК противника у контрольованій зоні за допомогою наявних засобів.
2. Розпізнавання типів РТЗ РТК противника.
3. Визначення найбільш імовірних напрямків, маршрутів руху та тактики дій РТЗ РТК противника.
4. Здійснення автоматизованого управління засобами виявлення та протидії РТЗ РТК в режимі часу, близькому до реального.
5. Автоматизоване здійснення обробки та комплексування розвідувальних даних, формування сигнатур об'єктів.
6. Визначення просторових координат РТЗ РТК противника.
7. Визначення засобів та порядку дій щодо протидії РТЗ РТК противника
8. Здійснення видачі цілевказівок засобам протидії.
9. Організація виконання спеціальних заходів боротьби з РТК противника.

Застосування системи боротьби з РТЗ РТК противника в першу чергу передбачає їх

виявлення будь-яким із ЗВ, що включені до складу системи, на заданому рубежі виявлення (рис. 4). Потрібні рубежі видачі розвідувальної інформації (ВРІ) та видачі бойової інформації (ВБІ), її точність і дискретність повинні забезпечувати своєчасне приведення сил і засобів протидії (ЗПд) РТЗ РТК в необхідний ступінь бойової готовності і виконання ними цільових завдань.

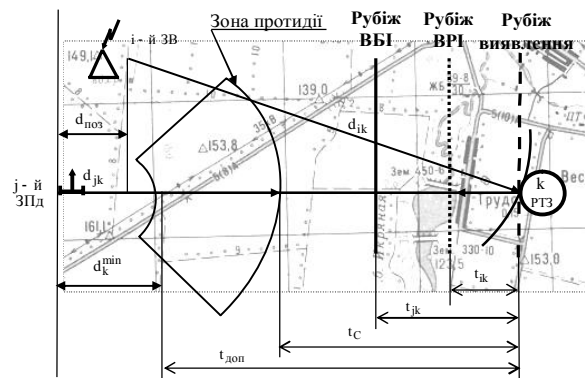


Рис. 4. До визначення часових параметрів системи боротьби з РТК противника

При цьому час, який витрачено на виявлення і протидію РТЗ РТК t_C повинен бути меншим за допустимий час $t_{доп}$, який характеризує початок виконання завдань відповідним РТЗ РТК на дальності d_k^{min} :

$$t_C < t_{доп} \quad (1)$$

Розрахункові рубежі ВРІ та ВБІ для кожного РТЗ РТК визначаються часом його виявлення та отримання даних, максимальним запізнюванням інформації в системі опрацювання і передачі даних, а також часом приведення відповідних ЗПД у готовність №1 з урахуванням їх дислокації та максимальної реалізації їх можливостей щодо протидії РТЗ РТК [14].

Потрібний рубіж ВРІ $d_{ВРІ}$ розраховується за формулою:

$$d_{ВРІ} = d_{jk} + V_k(t_{CY} + t_{БГ} + t_{роб} + t_{пд} + t_{затр}) \quad (2)$$

де d_{jk} – відстань до дальньої межі зони протидії j -го ЗПД k -го РТЗ РТК;

V_k – швидкість k -го РТЗ РТК

t_{CY} – робітний час системи управління;

$t_{БГ}$ – встановлений строк переходу у готовність №1

$t_{роб}$ – робітний час ЗПД;

$t_{пд}$ – час, який витрачається на протидію РТЗ;

$t_{затр}$ – час затримки інформації.

Потрібний рубіж ВБІ $d_{ВБІ}$ розраховується за формулою:

$$d_{ВБІ} = d_d + V_{РТЗ}(t_{CY} + t_{роб} + t_{пд} + t_{затр}) \quad (3)$$

Значення термінів часу для проведення окремих операцій можуть визначатися нормативними документами і тактико-технічними характеристиками елементів системи боротьби з РТК противника.

Час ВРІ t_{ik} для кожного ЗВ визначається з урахуванням відстані від нього до рубежу виявлення d_{ik} :

$$t_{ik} = \frac{d_{ik} - d_{ВРІ}}{V_k} \quad (4)$$

Час ВБІ t_{jk} визначається часом руху РТЗ РТК від моменту його виявлення i -м ЗВ на відстані до

дальньої межі зони протидії d_{jk} j -го ЗПД, $j = \overline{1, J}$ – кількість ЗПД з урахуванням $t_{роб}$ та $t_{пд}$:

$$t_{jk} = \frac{d_{ik} \pm d_{поз} - d_{jk}}{V_k} + t_{роб} + t_{пд} \quad (5)$$

де $d_{поз}$ – відстань від точки розміщення i -го ЗВ до місця знаходження j -го ЗПД.

Таким чином, розрахунок визначених часових параметрів вимагає великої кількості вихідних даних, а результат залежатиме від характеристик засобів системи боротьби з РТК, від параметрів РТЗ РТК противника, а також можливостей ЗВ щодо їх виявлення, при цьому забезпечення виконання умови (1) є необхідним для досягнення заданої якості виконання цільових завдань системи боротьби з РТК противника.

Взагалі весь процес боротьби з РТК противника з відповідним ступенем узагальнення та абстрагування може бути розглянутий в рамках теорії Дж. Бойда [17]. Універсальний цикл діяльності, за Бойдом, передбачає послідовне виконання таких процедур, як спостереження, орієнтування, рішення та дія (СОРД) (рис. 4).

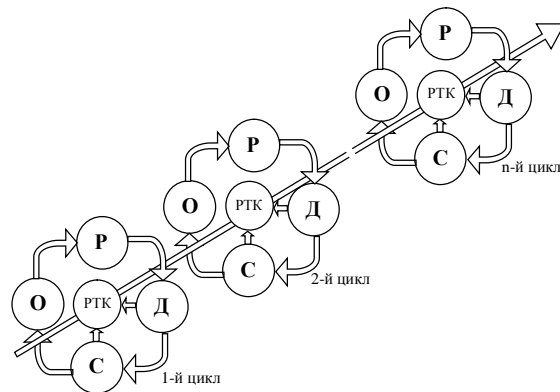


Рис. 5. Схема багатократного спірального повторення циклу СОРД

Перша процедура – спостереження – це процес організації та ведення розвідки противника у районі відповідальності, виявлення, захоплення на супроводження та супроводження РТЗ РТК. Орієнтування включає здійснення передбачення можливих задач РТЗ РТК, прогнозування їх дій та оцінки небезпеки яку вони представляють, визначення потреби у дорозвідці, вибір відповідних засобів протидії. Рішення включає визначення варіантів на які саме РТЗ РТК, у якому порядку, де, чим і коли впливати з прогнозою, на основі аналізу сукупності відповідних показників, оцінкою ефективності впливу та вибору із засобів впливу таких, застосування яких є найбільш раціональним. Дія включає видачу цілевказівок визначеним рішенням засобам впливу на РТЗ РТК, здійснення впливу та оцінку його результатів.

Характерною рисою циклів СОРОД в класичній постановці є їх одномірність. Тобто, досягнення поставленої мети, за Бойдом, повинно вирішуватись циклічно, але цикли при цьому не перетинаються, а продовжуються послідовно. Слід зазначити, що внутрішні, паралельні, паралельно-послідовні взаємопов'язані та незалежні цикли і такі, що виникають за умови певних дій або є безумовно необхідністю для вирішення інших взаємопов'язаних задач, які мають місце в багатьох практичних задачах і приводять до багатомірності в рамках теорії Бойда, до цього часу не досліджувалися. Тому в процесі досліджень ці питання отримали свій розвиток в рамках вирішення проблеми боротьби з РТК та РТЗ РТК. Так, передчасний початок наступного циклу (до закінчення дії) призводить або до подавлення циклів СОРОД, або ж до виникнення об'єктів з нескінченним циклом [17]. В той же час системи боротьби з РТК противника, як було зазначено, оснащуються різномірним ЗВ. Це призводить до того, що кожен і-й ЗВ розпочинає виконання цільових завдань у різні моменти часу, а отже для кожного ЗВ існує свій власний цикл СОРОД. Крім того, для забезпечення протидії РТЗ РТК можуть бути задіяними J ЗПд. Оскільки кожен j-й ЗПд має свої часові нормативи бойової роботи, то, відповідно, для нього має місце власний цикл СОРОД. Зазначені фактори призводять до того, що процес функціонування системи боротьби з наземними, повітряними, надводними та підводними РТК противника характеризується багатомірністю (рис. 6).

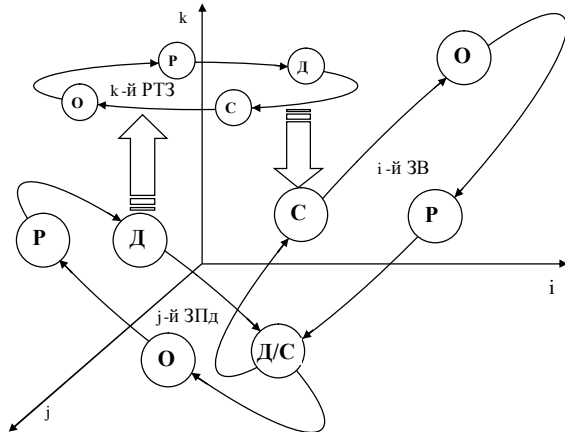


Рис. 6. Модифікований цикл СОРОД

Отже, для забезпечення якісного функціонування системи боротьби з РТК противника необхідний постійний аналіз часових параметрів ВРІ та ВБІ в залежності від класу РТК, типу ЗВ і ЗПд, що будуть застосовуватися. Це забезпечується шляхом оперативного управління підсистемою виявлення РТЗ РТК – визначенням необхідних для виконання задачі типів ЗВ, їх раціонального розміщення на місцевості та

структурно-елементного розподілу за складовими підсистемою протидії.

Загальна постановка задачі прийняття рішення щодо визначення необхідної для певної ситуації структури підсистеми виявлення може бути сформульована за допомогою моделі, яка включає три складові: модель підсистеми виявлення, її оцінку та прийняття рішення.

Модель підсистеми виявлення S можна представити у вигляді наступної сукупності множин і операторів [18]:

$$S = \langle A, U, L, B, T, X, Y \rangle, \quad (6)$$

де A – множина умов її функціонування;

U – множина допустимих управлінь;

L – множина можливих технічних рішень (альтернатив структури і параметрів підсистеми виявлення);

B – множина поточних інформаційних характеристик підсистеми виявлення;

T – множина часових станів;

X – множина можливих станів підсистеми виявлення в процесі її функціонування;

Y – множина виходів підсистеми виявлення.

Зазначені множини пов'язані в межах моделі системи наступними операторами:

$$f: A \times X \times T \rightarrow Y, \quad (7)$$

де $f(a, x, t) \in Y$ – поточний вихід системи $y \in Y$ у залежності від її станів $x \in X$ та умов функціонування $a \in A$ в момент часу $t \in T$;

$$h: A \times B \times T \rightarrow U, \quad (8)$$

де $h(a, b, t) \in U$ – реалізоване управління системою $u \in U$, яке визначається наявною інформацією $b \in B$ щодо умов функціонування $a \in A$ в момент часу $t \in T$;

$$g: L \times U \times T \rightarrow X, \quad (9)$$

де $g(v, u, t) \in X$ – оператор, який визначає стан системи за прийнятої структури $l \in L$ в залежності від реалізованого управління системою $u \in U$ в момент часу $t \in T$.

Модель оцінювання системи E може бути представлена набором:

$$E = \langle A, Y, L, P \rangle, \quad (10)$$

де P – множина значень показників якості функціонування підсистеми виявлення.

Оператор показників якості задається відображенням:

$$p: A \times L \times Y \rightarrow P, \quad (11)$$

де $p(a, l, y) \in P$ характеризує ефективність функціонування підсистеми виявлення в залежності від умов $a \in A$, прийнятої структури $l \in L$ і виходів підсистеми виявлення $y \in Y$ у вигляді сукупності часткових показників якості системи $p \in P$.

Модель вибору Q визначається у вигляді сукупності множин, які представляють собою введене на множині альтернатив відношення переваг:

$$Q = \langle A, P, H, R \rangle, \quad (12)$$

де H – формалізоване представлення вимог до підсистеми виявлення, а оператор: $q: A \times P \times H \rightarrow R$ – відображення наборів часткових показників якості в лінійну впорядковану шкалу переваг R , наприклад, у відрізок $R = [0, 1]$.

Модель прийняття рішення D щодо підсистеми виявлення може бути представлена сукупністю розглянутих моделей:

$$D = \langle S, E, Q \rangle. \quad (13)$$

Якщо відмітити найбільш суттєві для прийняття рішення компоненти стосовно структури підсистеми виявлення, то модель (13) можна записати у вигляді:

$$D = \langle A, L, P, H, p, q \rangle, \quad (14)$$

яка містить розглянуті у (6)–(12) компоненти.

Формалізація методів прийняття рішення зводиться до оптимізації визначених параметрів, які характеризують необхідну структуру підсистеми виявлення, за деякою цільовою функцією, яка виступає в ролі узагальненого показника якості за наявності обмежень, що визначають область допустимих рішень. Це полягає в реалізації функцій, за яких приймається такий варіант підсистеми виявлення з усіх можливих, за якого забезпечується збереження (покращення) визначеного функціоналу Y_C – ефективності її функціонування.

Відомо [7], що ефективність застосування систем виявлення в загальному випадку оцінюється такими групами показників: імовірнісними, просторовими та часовими. Наприклад, для систем виявлення БПЛА основними показниками якості, які характеризують ефективність її застосування для різних умов оперативної обстановки, можуть бути:

з імовірнісних показників - умовні імовірності правильного виявлення та розпізнавання БПЛА;

з просторових показників - реалізовані зони виявлення БПЛА залежно від параметрів ЗВ системи з урахуванням впливів активних та пасивних завад;

з часових показників - оперативність видачі розвідувальної інформації.

Умовна імовірність правильного виявлення БПЛА $P_B(\vec{n}_x)$ визначає встановлення факту його наявності у відповідному районі простору в процесі прийому й обробки сигналів і перешкод за допомогою \vec{n}_x -ї комбінації пасивних та активних ЗВ [19]. Умовна імовірність правильної ідентифікації БПЛА $P_p(\vec{n}_x)$ полягає у визначенні його типу та належності і здійснюється шляхом аналізу даних щодо його параметрів руху і поведінки в польоті, місця і часу запуску та інших даних, отриманих від \vec{n}_x -ї комбінації пасивних та активних ЗВ. За отриманих значень імовірностей правильного виявлення та розпізнавання та заданих значень імовірностей хибної тривоги виявлення $F_B^{пор} = \text{const}$ і хибної тривоги розпізнавання $F_p^{пор} = \text{const}$ за критерієм Неймана-Пірсона приймається рішення щодо наявності БПЛА у заданому районі.

З урахуванням зазначеного, якість застосування підсистеми виявлення визначається використанням такої комбінації ЗВ, за якої буде забезпечено виявлення та ідентифікацію БПЛА з показниками, не гірше заданих:

$$\left\{ P_B(\vec{n}_x)^3 P_{B0}; P_p(\vec{n}_x)^3 P_{p0} \right\}, \quad (15)$$

де \vec{n}_x – вектор, який відображає склад підсистеми виявлення;

$x = \overline{1, X}$ – кількість комбінацій пасивних та активних ЗВ;

P_{B0} – порогове значення показника якості виявлення;

P_{p0} – порогове значення показника якості розпізнавання.

Реалізована зона виявлення БПЛА в заданому районі $\bigcup_{m=1}^M \bigcup_{i=1}^I (Q_{iz}^R(j_{h, l} h))$ означає частину району

з урахуванням впливів активних та пасивних завад, у межах якої реалізуються можливості ЗВ щодо виявлення БПЛА з імовірністю, не нижче заданої [20]. Якість застосування підсистеми виявлення буде визначатися розміром m -кратного покриття заданого району $W(j_{h, l} h) = \text{const}$ реалізованими зонами виявлення ЗВ, включених до складу системи, при цьому:

$$\bigcup_{m=1}^M \bigcup_{i=1}^I (Q_{iz}^R(j_{h,l_h}))^3 Q_0, \quad (16)$$

де Q_0 – площа необхідної зони виявлення;

$m = \overline{1, M}$ – кількість типів ЗВ;

$h = \overline{1, H}$ – кількість точок району розвідки, в яких можуть бути розміщені ЗВ.

Показник оперативності видачі розвідувальної інформації підсистеми виявлення t_{ijk}^{op} полягає в її здатності вирішувати цільові завдання в режимі часу, який забезпечує швидке реагування на зміну обстановки та своєчасну протидію БПЛА противника [21]. Якість застосування підсистеми виявлення визначається умовою забезпечення допустимого значення показника оперативності видачі розвідувальної інформації $t_{допк}^{op}$:

$$t_{ijk}^{op} \geq t_{допк}^{op}, \quad (17)$$

Оскільки система призначена для забезпечення своєчасного виявлення БПЛА, то ефективність її застосування визначається за наступного розподілу часткових критеріїв з урахуванням умов (15)–(17):

$$Y_C = \begin{cases} \bigcap_i \{P_B(\vec{n}_x) \otimes \max; P_p(\vec{n}_x) \otimes \max\} \\ \bigcap_i \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{i=1}^I (Q_{iz}^R(j_{h,l_h})) \otimes \max, \\ \bigcap_i t_C \otimes \min. \end{cases} \quad (18)$$

Запропонований у [19–21] розв'язок задачі у вигляді (18) забезпечує вирішення завдання прийняття рішення щодо ефективності застосування визначеного варіанту підсистеми виявлення БПЛА в залежності від визначених умов і обмежень. Розроблені методики вибору ЗВ, їх розміщення на місцевості та структурно-елементного розподілу за елементами системи протидії дозволяють визначати раціональний склад підсистеми виявлення та формувати правила переваги застосування певного ЗВ залежно від умов обстановки, отримувати квазіоптимальні координати розміщення ЗВ та визначати матрицю оптимального структурно-елементного розподілу ЗВ за елементами системи протидії.

Література

1. Современные военные роботы – боевые системы будущего [Електронний ресурс] // Militaryarms.ru. – Режим доступу : <https://militaryarms.ru/voennaya-tekhnika/boevye-mashiny/voennye-boevye-roboty>. 2. В ходе СКШУ «Центр-2015» впервые применяется робототехника инженерных войск [Електронний ресурс]

Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, в процесі досліджень було встановлено, що якісне вирішення завдання боротьби з РТК противника вимагає комплексного підходу з залученням доступних сил та засобів і ефективне управління ними в процесі вирішення цільових завдань. На основі аналізу світових тенденцій щодо стратегій, засад, форм, способів, методів, тактики бойового застосування систем контролю навколишнього простору визначені стратегічні аспекти боротьби з РТК та запропонована структура і окреслено основні завдання перспективних комплексів боротьби з РТЗ РТК противника.

На прикладі вирішення задач боротьби з РТК та РТЗ РТК розглянутий загальний багатомірний випадок застосування теорії Бойда.

Практична реалізація запропонованих підходів та отриманих рішень забезпечує можливість створення раціональної структури системи боротьби з РТК, що дозволить своєчасно виявляти та протидіяти РТЗ противника. Ефективне вирішення завдання протидії РТК також вимагає проведення відповідних організаційно-технічних заходів та постійного науково-технічного супроводження вітчизняної системи боротьби з РТК противника шляхом:

1. Формування єдиних поглядів відповідних державних органів щодо розвитку систем боротьби з РТК противника та внесення необхідних змін і доповнень до основних керівних документів у сфері національної безпеки і оборони України.

2. Розроблення та прийняття Концепції створення системи боротьби з РТК противника.

3. Розроблення стандартів України щодо систем боротьби з РТК противника, сумісних зі стандартами НАТО.

4. Визначення єдиних підходів до класифікації та затвердження номенклатур засобів військового призначення перспективної системи боротьби з РТК противника.

5. Уніфікації складових елементів перспективної системи боротьби з РТК противника.

6. Формування кооперації науково-дослідних установ і підприємств-виробників різних міністерств і відомств та ефективної координації їх діяльності в сфері боротьби з РТК противника.

7. Організація підготовки фахівців за напрямками боротьби з РТК противника.

// Министерство обороны Российской Федерации. – Режим доступу : http://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12056386@egNews. 3. Unmanned Warrior 2016 Technology Fact Sheets [Електронний ресурс] // The Office of Naval Research (ONR). – Режим доступу : <https://www.onr.navy.mil/en/Media-Center/unmanned->

warrior. 4. Даник Ю. Г. Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі : монографія / Ю. Г. Даник, В. Г. Радецький, І. С. Руснак. – К. : НАОУ, 2008. – 224 с. 5. Патент UA104494 U. Система виявлення, розпізнавання, супроводження повітряних та наземних цілей / Даник Ю. Г., Дупелич С. О.; власники патенту Даник Ю. Г., Дупелич С. О.; заявл. 25.05.15; опубл. 10.02.16, Бюл. № 3. – 6 с. : іл. 6. Патент UA104662 U. Переносний засіб ураження повітряних малорозмірних цілей / Даник Ю. Г., Дупелич С. О.; власники патенту Даник Ю. Г., Дупелич С. О.; заявл. 10.08.15; опубл. 10.02.16, Бюл. № 3. – 4 с. : іл. 7. Даник Ю. Г. Теорія і техніка протидії безпілотним засобам повітряного нападу. Кн. 1. Безпілотні засоби повітряного нападу. Застосування та перспективи розвитку. Виявлення малопомітних засобів повітряного нападу / Ю. Г. Даник, В. І. Карпенко, Г. А. Дробаха, Р. Е. Пашенко // Монографія. Х. : Міністерство оборони України, ХВУ, 2002. – 220 с. 8. Moses A. Radar-based detection and identification for miniature air vehicles / A. Moses, M. J. Rutherford, K. P. Valavanis // IEEE International Conference on Control Applications. – Denver, CO, USA. September 28–30, 2011. – P. 933–940. 9. Saravanakumar A. Exploitation of Acoustic signature of low flying Aircraft using Acoustic Vector sensor / A. Saravanakumar, K. Senthilkumar // Defence Science Journal. – March 2014. – Vol. 64, No. 2. – P. 95–98. 10. Detecting, Tracking and Identifying Airborne Threats with Netted Sensor Fence / W. Shi, G. Arabadjis, B. Bishop, P. Hill // Sensor Fusion – Foundation and Applications. – Rijeka, Croatia : InTech Europe, 2001. – P. 139–158. 11. Основи побудови безпілотних роботизованих систем спеціального призначення : навч. посіб. / Ю. Г. Даник, П. П. Топольницький, І. В. Пулеко та ін. – Житомир : ЖВІ, 2016. – 292 с. 12. Саврасов Ю. С. Алгоритмы и программы в радиолокации / Ю. С. Саврасов. – М. : Радио и связь, 1985. – 216 с., ил. 13. Петраш С. В. Алгоритм розпізнавання джерел радіовипромінювання для засобів радіомоніторингу / С. В. Петраш, О. Р. Черняк, С. О. Дупелич, С. В. Тимчук // Системе

управління, навігації та зв'язку. – К. : ЦНДІНУ, 2012. – Вип. 1(21). – Т. 2. – С. 52–56. 14. Довідник з протиповітряної оборони / А. Я. Горюпчин, І. О. Романенко, Ю. Г. Даник та ін. – К. : МО України, Х. :ХВУ, 2003. – 368 с. 15. Наприкінці цього літа у морської піхоти США з'явиться перша лазерна зброя підтримки [Електронний ресурс] // Надзвичайне. – Режим доступу : <http://www.nadzvichajne.com.ua/uncategorized/Naprik-nc-s-ogo-l-ta-u-mors-ko-p-hoti-SShA-z-yavit-sya-persha-lazerna-zbroya-p-dtrimki>. 16. Патент UA 105778 U. Спосіб бойового застосування безпілотних літальних апаратів для ураження малорозмірних повітряних цілей / Даник Ю. Г., Дупелич С. О.; власники патенту Даник Ю. Г., Дупелич С. О.; заявл. 10.08.15; опубл. 11.04.16, Бюл. № 7. – 4 с. : іл. 17. Буренок В. М. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация / В. М. Буренок, А. А. Ивлев, В. Ю. Корчак. – Тверь : Изд-во ООО «КУПОЛ», 2009. – 624 с., ил. 18. Карминский А. М. Автоматизированное проектирование и синтез радиосистем / А. М. Карминский, И. М. Коган // Итоги науки и техники. Серия радиотехника. – 1987. – №37. – С. 91–144. 19. Korobiichuk I. The Selection Methods for Multisensor System Elements of Drone Detection / I. Korobiichuk, M. Nowicki, Y. Danyk and other. – Recent Advances in Systems, Control and Information Technology. – Springer International Publishing AG, 2017. – P. 20–26. 20. Журавський Ю. В. Методика оптимізації розміщення елементів багатопозиційної мультисенсорної системи виявлення безпілотних літальних апаратів / Ю. В. Журавський, С. О. Дупелич // Труды університету : зб. наук. праць. – К. : НАОУ, 2016. – № 1(140). – С. 148–156. 21. Дупелич С. О. Удосконалена методика визначення зв'язків між елементами багатопозиційної мультисенсорної системи / С. О. Дупелич // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ, 2016. – Вип. 13. – С. 41–50.

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БОРЬБЫ С РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Даник Юрий Григорьевич (д-р техн. наук, профессор, начальник института)¹
Дупелич Сергей Алексеевич (преподаватель кафедры)²

¹Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина
²Житомирский военный институт имени С П Королева, Житомир, Украина

В статье рассмотрены стратегические аспекты борьбы с робототехническими комплексами. Предложена перспективная модель борьбы с робототехническими средствами робототехнических комплексов и сформулированы перспективные пути развития систем борьбы с робототехническими комплексами и направления их боевого применения. Обнаружено, что в процессе функционирования таких систем необходимо осуществлять непрерывный анализ соотношения времени выдачи разведывательной и боевой информации с учетом как большого количества разнообразных робототехнических средств робототехнических комплексов противника, так и разнотипных средств, которые входят в состав указанных систем. На основании проведенного анализа принципов функционирования системы борьбы с наземными, воздушными (БПЛА), надводными и подводными робототехническими комплексами противника определены соответствующие организационно-технические меры и обоснованно перспективные направления относительно разработки отечественной системы борьбы с робототехническими комплексами противника. Предложено общую многомерную модель циклов Бойда.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты и беспилотные авиационные комплексы (БПЛА и БАК), боевое применение робототехнических комплексов (БАК), противодействие робототехническим комплексам (БАК) и средствам (БПЛА), обнаружение робототехнических комплексов (средств).

STRATEGIC ASPECTS OF FIGHT AGAINST ROBOT SYSTEMSYuriy H. Danyk (Doctor of Technical Sciences, Professor, chief of a Institute)¹Sergiy O. Dupelych (teacher of a Department)²¹National University of defense of Ukraine named after I. Chervjahovskogo, Kyiv, Ukraine
²Zhytomyr military Institute named after S. Korolyov, Zhytomyr, Ukraine

Strategic aspects of fight AGAINST robot systems are considered. The perspective model of struggle with robot means of robot systems was offered. Perspective ways of development of systems of struggle with robot systems and directions of their fighting use are formulated. It is revealed that in the course of functioning of such systems it is necessary to carry out the continuous analysis of a parity of time of delivery of the intelligence information and battle information. It is thus necessary to take into account considerable quantity of robot systems and means, which are a part of the specified systems. The main organizational-technical tasks were defined on the basis of the spent analysis of principles of functioning of system of struggle with robot systems of land, air (UAV), surface and underwater. Perspective directions concerning Ukrainian system of struggle with robot systems are grounded. It is offered the general multidimensional model of cycles of Boyd.

Keywords: unmanned aerial vehicles and unmanned aerial systems (UAV and UAS), fighting application robot systems (UAS), counteraction robot systems (UAS) and means (UAV), detection robot systems (means).

References

1. "Modern soldiery robots are the battle systems of the future" ["Sovremennyye voennyye roboty – boevyye sistemy budushchego"], available at: <https://militaryarms.ru/voennaya-texnika/boevyye-mashiny/voennyye-boevyye-roboty>.
2. "During manoeuvres "Center-2015" robotics of engineering troops is first used" ["V hode SKShU «Tsent-2015» pervyye primenyaetsya robototekhnika inzhenernykh voysk"], available at: http://function.mil.ru/news_page/country/more.htm?id=12056386@egNews.
3. "Unmanned Warrior 2016 Technology Fact Sheets", available at: <https://www.onr.navy.mil/en/Media-Center/unmanned-warrior>.
4. Danyk Yu. H., Radetskyi V. H., Rusnak I. S., (2008) A unmanned aviation is in the modern armed fight : monograph. [Bezpilotna aviatsiia v suchasni zbroinii borotbi : monohrafiia], NUDU, Kiev, 224 p.
5. Danyk Yu. H., Dupelych S. O. (2016), Patent of UA104494 U. System of exposure, recognition, accompaniment of air and surface aims. [Systema vyivlennia, rozpoznavannia, suprovodzhennia povitrianykh ta nazemnykh tsilei], Kiev, 6 p.
6. Danyk Yu. H., Dupelych S. O. (2016), Patent of UA104662 U. Portable decimator of air little-size aims. [Perenosnyi zasib urazhennia povitrianykh malorozmirnykh tsilei], Kiev, 4 p.
7. Danyk Yu. H., Karpenko V. I., Drobakha H. A., Pashchenko R. E. (2002), Theory and technique of counteraction to unmanned facilities of air attack. B. I. Pilotless facilities of air attack. Application and prospects of development. Exposure of barely visible facilities of air attack. [Teoriia i tekhnika protydiv bezpilotnym zasobam povitrianoho napadu. Kn. 1. Bezpilotni zasoby povitrianoho napadu. Zastosuvannia ta perspektyvy rozvytku. Vyivlennia malopomitnykh zasobiv povitrianoho napadu], KhMU, Kharkov, 220 p.
8. Moses A., Rutherford M. J., Valavanis K. P. (2011), Radar-based detection and identification for miniature air vehicles, IEEE International Conference on Control Applications, pp. 933–940.
9. Saravanakumar A., Senthilkumar K. (2014), Exploitation of Acoustic signature of low flying Aircraft using Acoustic Vector sensor, Defence Science Journal, Vol. 64, No. 2, pp. 95–98.
10. Shi W., Arabadjis G., Bishop B., Hill P. (2001) Detecting, Tracking and Identifying Airborne Threats with Netted Sensor Fence, Foundation and Applications, pp. 139–158.
11. Danyk Yu. H., Topolnitskyi P. P., Puleko I. V. and other (2016), Bases of construction of the pilotless robot systems of the special setting : train aid. [Osnovy pobudovy bezpilotnykh robotyzovanykh system spetsialnoho pryznachennia : navch. posib.], ZVI, Zhitomir, 292 p.
12. Savrasov Yu. S. (1985), Algorithms and programs are in a radio-location. [Algoritmy i programy v radiolokatsii], Radio i svyaz, Moscow, 216 p.
13. Petrash S. V., Chemiak O. P., Dupelych S. O., Tymchuk S. V. (2012), An algorithm of recognition of sources of radio of radiation is for facilities of monitoring radio. [Alhorytm rozpoznavannia dzherel radiovyprominiuvannia dlia zasobiv radiomonitorynhu], Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku, No. (1) 21, pp. 52–56.
14. Toropchyn A. Ya., Romanenko I. O., Danyk Yu. H. (2003), A reference book is from air defense. [Dovidnyk z protypovitrianoi oborony], MO Ukrainy, Kiev, KhMU, Kharkov, 368 p.
15. "At the end of this summer the first laser weapon of support will appear at the marines of the USA" ["Naprykintsi toho lita u morskoi pikhoty SShA zavyetsia persha lazerna zbroia pidtrymky"], available at: <http://www.надзвичайне.com.ua/uncategorized/Naprik-nc-c-ogo-l-ta-u-mors-ko-p-hoti-SShA-z-yavit-sya-persha-lazerna-zbroya-p-dtrimki>.
16. Danyk Yu. H., Dupelych S. O. (2016), Patent of UA105778 U. A method of battle application of pilotless aircrafts is for the defeat of little-size air aims. [Sposib boiovoho zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia urazhennia malorozmirnykh povitrianykh tsilei], Kiev, 4 p.
17. Burenok V. M., Ivlev A. A., Korchak V. Yu. (2009), Development of soldiery technologies of XXI century : problems, planning, realization. [Razvitie voennykh tekhnologiy XXI veka: problemy, planirovanie, realizatsiia], Tver : Izd-vo OOO «KUPOL», 624 p.
18. Karminskiy A. M., Kogan I. M. (1987), Automated planning and synthesis of radio of the systems. [Avtomatizirovannoe proektirovanie i sintez radiosistem], Itogi nauki i tekhniki. Seriya radiotekhnika, No. 37, pp. 91–144.
19. Korobiichuk I., Nowicki M., Danyk Yu. and other. (2017), The Selection Methods for Multisensor System Elements of Drone Detection Recent Advances in Systems, Control and Information Technology. – Springer International Publishing AG, pp. 20–26.
20. Zhuravskiy Yu. V., Dupelych S. O. (2017), Methodology of optimization of placing of elements of the multiposition multisensory system of exposure of unmanned aerial vehicles [Metodyka optymizatsii rozmishchennia elementiv bahatopozystsinoi multisensornoii systemy vyivlennia bezpilotnykh litalnykh aparativ], Trudy universytetu, No. (1) 140, pp. 148–156.
21. Dupelych S. O. (2016), Improved method of determination of connections between elements of multiposition multisensor system. [Udoskonalena metodyka vyznachennia zviazkiv mizh elementamy bahatopozystsinoi multysensornoii systemy], Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats., No. 13, pp. 41–50.